

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS

TEMA:
DESARROLLO DE UN LIMPIADOR DE INYECTORES DE GASOLINA
CON UN BANCO DE PRUEBAS AUTOMÁTICO PARA EL SERVICIO
AUTOMOTRIZ “LOS NOGALES”

AUTORES:
SANTIAGO DAVID QUINSASAMIN PILLALAZA
JORGE ARIEL SAÑAICELA CUEVA

TUTOR:
CARLOS GERMÁN PILLAJO ANGOS

Quito, marzo 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Santiago David Quinsasamin Pillalaza con documento de identificación N° 1725616757 y Jorge Ariel Sañaicela Cueva con documento de identificación N° 0604886648 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del Trabajo de Titulación intitulado **DESARROLLO DE UN LIMPIADOR DE INYECTORES DE GASOLINA CON UN BANCO DE PRUEBAS AUTOMÁTICO PARA EL SERVICIO AUTOMOTRIZ “LOS NOGALES”**, el mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Santiago David Quinsasamin Pillalaza
C.I.: 1725616757

Jorge Ariel Sañaicela Cueva
C.I.: 0604886648

Quito, marzo de 2019

DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación **DESARROLLO DE UN LIMPIADOR DE INYECTORES DE GASOLINA CON UN BANCO DE PRUEBAS AUTOMÁTICO PARA EL SERVICIO AUTOMOTRIZ “LOS NOGALES”**, realizado por Santiago David Quinsasamin Pillalaza y Jorge Ariel Sañaicela Cueva, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo de titulación.

Quito, marzo del 2019.



Carlos Germán Pillajo Angos
C.I.: 1709255119

DEDICATORIA

Con todo mi cariño dedico este trabajo a mi familia, en especial, a mis padres por haberme apoyado y guiado a lo largo de mi carrera y de mi vida, por creer en mí, aunque hemos tenido momentos muy difíciles como familia siempre hemos salido adelante juntos. Este trabajo es para ustedes, de igual manera dedico este trabajo a los errores que he cometido, errores que me han dado enseñanzas y me han convertido en un ser más fuerte, cada día, tanto como persona, como estudiante, como hijo, como hermano, como amigo y ahora como profesional.

David

Este trabajo va dedicado a mis padres por brindarme su cariño y sus consejos. A mi hermano Jimmy que supo apoyarme de manera incondicional para culminar mis estudios universitarios.

Jorge

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mis padres, a mi hermana y a mi familia, quienes han sido un apoyo incondicional a lo largo de mi vida; a mi novia, amigos, a mis compañeros de universidad y a todas aquellas personas que aportaron e hicieron posible la culminación de este Trabajo.

David

A Dios por sus bendiciones, a mis padres por el esfuerzo de verme realizado académicamente y a mis abuelitos por los valores inculcados para ser cada día una mejor persona.

Jorge

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana y a nuestro tutor Ingeniero Carlos Pillajo, MSc. por los conocimientos, consejos y paciencia que tuvo a lo largo de todo este proceso.

David & Jorge

ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
MARCO TEÓRICO	5
1.1. Sistema de inyección electrónica.....	5
1.2. Inyector de gasolina.....	6
1.2.1 Impurezas en los inyectores	6
1.2.2 Pruebas de funcionamiento de los inyectores.....	7
1.3. Convertidores de Corriente.....	8
1.3.1 Rectificadores AC-DC	8
1.3.2 Convertidores DC-DC.....	8
1.3.3 Reguladores AC-AC.....	9
1.3.4 Inversores DC-AC.....	9
1.3.5 Inversor monofásico en medio puente.....	10
1.4. Sonido.....	10
1.4.1 Ultrasonido	13
1.4.2 Limpieza por ultrasonido.....	13
1.4.3 Cavitación.....	14
1.5. Transductores.....	14
1.5.1 Transductores Piezoeléctricos	15
1.5.2 Transductores Piezoeléctricos en la limpieza por ultrasonido	15
1.6. Visión Artificial	16

1.7.	Sistemas SCADA.....	16
1.8.	PWM.....	17

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE 20

2.1	Componentes y Sistemas	21
2.1.1	Unidad principal de control.....	21
2.1.2	Fuente principal de alimentación.....	21
2.1.3	Sistema Hidráulico	22
2.1.4	Tarjeta driver de control	23
2.1.5	Sistema de Ultrasonido.....	23
2.1.6	Sistema SCADA.....	24
2.1.7	Sistema de visión artificial	25
2.1.8	Componentes mecánicos y estructurales del banco de pruebas	25
2.2.	Montaje de la estructura mecánica para el banco de pruebas	26
2.3.	Montaje del sistema hidráulico	27
2.4.	Diseño de la tarjeta driver de control.....	32
2.4.1	Funcionamiento de la tarjeta driver de control.....	33
2.4.2	Funcionamiento del sistema de ultrasonido	35
2.5.	Construcción de la placa PCB para la tarjeta driver de control	36
2.6.	Construcción del sistema de ultrasonido	36
2.6.1	Descripción del circuito electrónico de alta frecuencia.....	36
2.6.2	Cálculos del circuito electrónico de alta frecuencia	38
2.6.3	Diseño de la placa PCB para el circuito de alta frecuencia.....	42
2.6.4	Tina para el lavado por ultrasonido	42
2.6.5	Cálculo de la potencia del lavado por ultrasonido	44
2.6.6	Selección del transductor.....	45
2.7	Montaje del sistema de ultrasonido	46

CAPÍTULO 3

DISEÑO SOFTWARE 48

3.1	Software a utilizar.....	48
3.1.1	Python.....	48
3.1.2	MySQL.....	48

3.1.3	OpenCV	48
3.1.4	Tkinter	49
3.2	Generación de PWM.....	49
3.2.1	Cálculo del período y frecuencia para 1500 rpm	50
3.2.2	Cálculo del período y frecuencia para 2500 rpm	50
3.2.3	Cálculo del período y frecuencia para 4000 rpm	51
3.2.4	Cálculo del ciclo de trabajo para las tres velocidades	51
3.3	Programación de PWM, ciclo de trabajo y frecuencia en Python	52
3.4	Desarrollo de la base de Datos.....	54
3.5	Conexión MySQL-Python	55
3.6	Programación de las pruebas de operación.....	59
3.6.1	Diagrama de Flujo General	59
3.6.2	Diagrama de flujo prueba de estanqueidad	60
3.6.3	Diagrama de flujo prueba velocidad variable.....	63
3.6.4	Diagrama de flujo prueba velocidad baja.....	65
3.6.5	Diagrama de flujo prueba velocidad media.....	66
3.6.6	Diagrama de flujo prueba velocidad alta.....	69
3.6.7	Diagrama de flujo para determinar el mayor nivel.....	71
3.6.8	Diagrama del porcentaje de desviación.....	75
3.7	Desarrollo de interfaces en Python con Tkinter.....	77
3.7.1	Diagrama de estados de la programación para la interfaz.....	82
3.8	Desarrollo de la visión artificial.....	84
3.8.1	Diagrama de flujo para de la visión artificial	91
3.8.2	Diagrama de flujo para determinar el goteo	93

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS	94
4.1 Pruebas y resultados en el vehículo Aveo Family	94
4.2 Pruebas y resultados en el vehículo Corsa Evolution	99
CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	107

ANEXOS
---------------------	--------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema de Inyección Electrónica	6
Figura 1.2 Control de Frecuencia con SCR	9
Figura 1.3 Inversor monofásico medio puente.....	10
Figura 1.4 Período de onda	11
Figura 1.5 Longitud de onda	12
Figura 1.6 Infrasonidos y Ultrasonidos.....	13
Figura 1.7 Limpieza por Ultrasonido	14
Figura 1.8 Transductor Electroacústico	15
Figura 2.1 Diagrama de bloques del proyecto	20
Figura 2.2 Raspberry Pi 3	21
Figura 2.3 Fuente conmuta GPZA-300U-12.....	21
Figura 2.4 Componentes del sistema hidráulico	22
Figura 2.5 Tarjeta driver de control	23
Figura 2.6 Elementos del sistema de ultrasonido.....	24
Figura 2.7 SCADA.....	24
Figura 2.8 Visión artificial	25
Figura 2.9 Estructura del banco de pruebas	26
Figura 2.10 Estructura mecánica del banco de pruebas	26
Figura 2.11 Probetas graduadas de 120 ml	27
Figura 2.12 Diagrama de bloques del sistema hidráulico	29
Figura 2.13 Acople en "T"	29
Figura 2.14 Riel de inyectores y varillas de sujeción.....	30
Figura 2.15 Acoples tipo tornillo	30
Figura 2.16 Acoples tipo tornillo en riel de inyectores	30
Figura 2.17 Nivel de líquido de pruebas	31
Figura 2.18 Electroválvulas	31

Figura 2.19 Esquema hidráulico	32
Figura 2.20 Diagrama de bloques de la tarjeta driver de control	32
Figura 2.21 Circuito de control para los actuadores	34
Figura 2.22 Esquema del circuito de activación del ultrasonido	35
Figura 2.23 Diagrama de bloques de la tarjeta generadora de alta frecuencia.....	36
Figura 2.24 Esquema electrónico del circuito generador de alta frecuencia.....	38
Figura 2.25 Circuito generador de alta frecuencia terminado	42
Figura 2.26 Zona de trabajo efectiva de la tina de lavado por ultrasonido	43
Figura 2.27 Estructura para mantener a los inyectores	44
Figura 2.28 Transductor piezoeléctrico seleccionado	45
Figura 2.29 Transductor acoplado a la tina.....	46
Figura 2.30 Tina de lavado por ultrasonido terminado	47
Figura 3.1 Numeración de los pines de la Raspberry.....	53
Figura 3.2 Script “conexión”	56
Figura 3.3 Script “contacto” parte 1	57
Figura 3.4 Script “contacto” parte 2.....	57
Figura 3.5 Diagrama de flujo general	60
Figura 3.6 Diagrama de flujo de la prueba 1	61
Figura 3.7 Diagrama de flujo de la prueba 2.....	63
Figura 3.8 Diagrama de flujo de la prueba 3.....	65
Figura 3.9 Diagrama de flujo de la prueba 4.....	67
Figura 3.10 Diagrama de flujo de la prueba 5.....	69
Figura 3.11 Diagrama de flujo para determinar el mayor nivel	71
Figura 3.12 Diagrama de flujo para determinar el mayor nivel parte A	72
Figura 3.13 Diagrama de flujo para determinar el mayor nivel parte B	74
Figura 3.14 Diagrama de flujo para el porcentaje de desviación	76
Figura 3.15 Pestaña “Insertar”	79
Figura 3.16 Pestaña “Consultar”	80
Figura 3.17 Pestaña “Actualizar”	80
Figura 3.18 Pestaña “Eliminar”	81
Figura 3.19 Pestaña “INICIO”	81
Figura 3.20 Diagrama de estado de la programación.....	83

Figura 3.21 Diagrama de bloques de la visión artificial	84
Figura 3.22 Ventana de calibración	86
Figura 3.23 Frame para una de las probetas.....	86
Figura 3.24 Aplicación GaussianBlur al frame.....	87
Figura 3.25 Conversión del frame de BGR a HSV	87
Figura 3.26 Máscara del frame.....	88
Figura 3.27 Frame con transformación morfológica.....	89
Figura 3.28 Frame con contornos.....	89
Figura 3.29 Ventana “Niveles”	90
Figura 3.30 Diagrama de flujo de la visión artificial	91
Figura 3.31 Diagrama de flujo para el goteo.....	93
Figura 4.1 Porcentajes de volumen en la segunda prueba de operación del vehículo Aveo Family.....	97
Figura 4.2 Porcentajes de volumen en la tercera prueba de operación del vehículo Aveo Family.....	98
Figura 4.3 Porcentajes de volumen en la cuarta prueba de operación del vehículo Aveo Family.....	98
Figura 4.4 Porcentajes de volumen en la quinta prueba de operación del vehículo Aveo Family.....	99
Figura 4.5 Porcentajes de volumen en la segunda prueba de operación del vehículo el Corsa Evolution.....	102
Figura 4.6 Porcentajes de volumen en la tercera prueba de operación del vehículo el Corsa Evolution.....	102
Figura 4.7 Porcentajes de volumen en la cuarta prueba de operación del vehículo el Corsa Evolution.....	103
Figura 4.8 Porcentajes de volumen en la quinta prueba de operación del vehículo el Corsa Evolution.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características técnicas de la fuente.....	22
Tabla 2.2 Características del banco de pruebas	25
Tabla 2.3 Características del sistema hidráulico	28
Tabla 2.4 Características generales de la tina de lavado por ultrasonido.....	43
Tabla 2.5 Especificaciones del transductor piezoeléctrico	46
Tabla 3.1 Descripción de las revoluciones para cada prueba.....	49
Tabla 3.2 Valores para los inyectores en el banco de pruebas	52
Tabla 3.3 Descripción de los comandos.....	54
Tabla 3.4 Descripción de los campos de la tabla "registros_de_clientes"	55
Tabla 3.5 Descripción de las partes del código para realizar la conexión	56
Tabla 3.6 Descripción de las funciones del script “contacto”	58
Tabla 3.7 Descripción del diagrama de flujo de la prueba 1	62
Tabla 3.8 Descripción del diagrama de flujo de la prueba 2.....	64
Tabla 3.9 Descripción del diagrama de flujo de la prueba 3.....	66
Tabla 3.10 Descripción del diagrama de flujo de la prueba 4.....	68
Tabla 3.11 Descripción del diagrama de flujo de la prueba 5.....	70
Tabla 3.12 Descripción del diagrama de flujo para determinar el mayor nivel.....	71
Tabla 3.13 Descripción del diagrama de flujo para determinar el mayor nivel en cada prueba parte A	73
Tabla 3.14 Descripción del diagrama de flujo para determinar el mayor nivel en cada prueba parte B	75
Tabla 3.15 Descripción del diagrama de flujo para calcular del porcentaje de desviación del nivel en cada probeta.....	77
Tabla 3.16 Descripción de los métodos utilizados en las pestañas	78
Tabla 3.17 Descripción de las funciones de la pestaña “Inicio”	82
Tabla 3.18 Descripción del diagrama de flujo de la visión artificial	92
Tabla 4.1 Resultado de la prueba estanqueidad en el vehículo Aveo Family previo a la limpieza	94

Tabla 4.2 Resultados de las pruebas de operación en el vehículo Aveo Family previo a la limpieza	95
Tabla 4.3 Resultado de la prueba estanqueidad en el vehículo Aveo Family posterior a la limpieza	96
Tabla 4.4 Resultados de las pruebas de operación en el vehículo Aveo Family posterior a la limpieza	96
Tabla 4.5 Resultado de la prueba estanqueidad en el vehículo Corsa Evolution previo a la limpieza	100
Tabla 4.6 Resultados de las pruebas de operación en el vehículo Corsa Evolution previo a la limpieza	100
Tabla 4.7 Resultado de la prueba estanqueidad en el vehículo Corsa Evolution posterior a la limpieza	101
Tabla 4.8 Resultados de las pruebas de operación en el vehículo Corsa Evolution posterior a la limpieza	101

RESUMEN

El presente trabajo explicará el proceso realizado para implementar un equipo de evaluación y limpieza de inyectores de motores a gasolina. El equipo consta de un banco de pruebas usando la tarjeta Raspberry PI 3, la cual controla y simula el trabajo que hace un inyector en un motor de combustión interna mediante pruebas de operación a cada uno de los inyectores. Además, se desarrolló un equipo de limpieza para el mantenimiento correctivo de los inyectores, el cual se implementó mediante un circuito inversor medio puente que produce la potencia y frecuencia requerida para el proceso de limpieza de inyectores.

Hoy en día el proceso de limpieza más usado a nivel industrial y más eficiente es el lavado por ultrasonido, el cual usa como principio de funcionamiento circuitos inversores oscilantes. Para la ejecución del proyecto se dividió en dos partes fundamentales, siendo la primera el diseño y construcción del banco de pruebas y como segundo pilar el sistema de limpieza por ultrasonido.

Para la construcción del banco de pruebas se utilizó un control PWM con la tarjeta Raspberry PI 3 la cual simula las condiciones de trabajo que tiene un inyector. Para captar los niveles de líquido presentes en cada prueba se utilizó un sistema de visión artificial. Además, para controlar y monitorear las diferentes pruebas de los inyectores, se implementó un sistema SCADA.

El lavado de inyectores por ultrasonido consta de un circuito inversor de medio puente con un transductor piezoeléctrico. De esta forma se pudo generar una potencia de 50W y una frecuencia de 40 KHz que son necesarias para el funcionamiento del sistema de limpieza por ultrasonido.

ABSTRACT

For the present work is to explain everything that is needed to make a team of evaluation and cleaning of the injectors of engines, this equipment consists of a test bench developed by a Raspberry PI 3 card that controls and simulates the work that has An injector is an internal combustion engine by testing one of the injectors. A cleaning equipment can also be used for the corrective maintenance of the injectors that is implemented through a medium inverter circuit that produces the power and frequency required for the cleaning process of injectors.

Nowadays, the cleaning process most used at an industrial level and more efficient is ultrasonic washing, which uses as a principle of operation circuits oscillating inverter circuits. For the execution of the project, it was divided into two fundamental parts, the first being the design and construction of the test bench and the second, the ultrasound cleaning system.

For the construction of the test bench, a PWM control was controlled with the Raspberry PI 3 card, which simulates the working conditions of an injector, and by means of an artificial vision system was processed at the level of the present liquid levels in each test of operation to which the injectors are subjected, in addition this bank of tests consists of a SCADA system in which the operator can control and monitor the different tests applied to the injectors.

For the construction of the ultrasonic washing, a half bridge inverter circuit was used, which by means of a piezoelectric transducer generated a power of 50w and a frequency of 40 KHz necessary for the operation of the cleaning system.

INTRODUCCIÓN

La industria automotriz tiene un crecimiento notorio en el paso de los años, en gran parte ese crecimiento se debe al desarrollo que ha tenido la electrónica en el campo de los automóviles mejorando sus sistemas, brindando ayuda y seguridad a los pasajeros, o desarrollando máquinas y herramientas para el diagnóstico de fallas y mantenimiento de sus sistemas.

Una de las máquinas más comunes y usadas es el banco probador y limpiador de inyectores. Esta máquina indispensable en cualquier establecimiento del sector automotriz, el banco comprueba el estado de cada inyector mediante pruebas de operación y simulación en condiciones reales de trabajo. El banco de pruebas no usa gasolina, sino un líquido especial no inflamable, el cual reemplaza a la gasolina disminuyendo así posibles accidentes para el operario.

Este proyecto también desarrolla un sistema de limpieza para los inyectores, conociendo de antemano que el mecanismo de limpieza por ultrasonido es el más eficiente hasta ahora. Usando el proceso físico llamado cavitación, el cual produce miles de burbujas en una tina que contiene un líquido especial llamado agente limpiador se realiza el proceso de limpieza de los actuadores.

En el mercado nacional existen bancos limpiadores y probadores de inyectores, pero debido al precio, no son accesibles para negocios pequeños como el Servicio Automotriz “Los Nogales”. Por esta razón el proyecto está enfocado a los pequeños negocios y pequeñas empresas. Además, se implementan mejoras como la visión artificial, pruebas de operación automáticas, sistema SCADA, bases de datos, las cuales permitirán que este proyecto mejore la calidad de trabajo y genere un mejor servicio hacia sus clientes.

Con el avance de la electrónica en los vehículos, hoy en día se requiere de sistemas y equipos altamente calificados que faciliten el mantenimiento preventivo y análisis de fallos de dichos sistemas. Por lo que se hace necesario en la industria automotriz el uso de equipos como el “probador y limpiador de inyectores de gasolina”,

herramienta fundamental para verificar el estado y la calidad de trabajo que tienen los inyectores, para posteriormente limpiarlos.

Este proyecto está destinado para pequeñas empresas dedicadas al sector automotriz que no poseen una herramienta para el análisis y limpieza de inyectores. Los inyectores son importantes porque deben entregar el combustible exacto al motor y deben pulverizar la gasolina correctamente. Por ello es necesario que los inyectores no presenten fallos y estén limpios, pero debido a la calidad de la gasolina o al tiempo de uso, las impurezas llegan al inyector causando los siguientes efectos:

- El inyector entrega menos combustible debido a la obstrucción, causando pérdida de potencia en el vehículo.
- El inyector puede tener fugas, permitiendo pérdidas de combustible.
- El inyector puede dejar de entregar combustible causando daños al motor y mayor emisión de gases contaminantes.

Por estas razones es recomendable lavarlos cada 50 mil kilómetros en los talleres automotrices. Pero debido a costos de estas herramientas, en algunos establecimientos la limpieza de los inyectores se lo realiza superficialmente y de forma manual, sin antes haber realizado pruebas de fallos a cada uno para verificar su estado.

Al no usar un banco de pruebas y no realizar una correcta limpieza de los inyectores, los problemas que pueden generar son:

- El cliente pierde la confianza en el establecimiento.
- Realizar solo una limpieza superficial implica que los fallos seguirán persistiendo.

- Al limpiarlo de forma manual el operario entra en contacto con sustancias de limpieza nocivas provocando afectaciones en la salud.
- No se puede verificar cuales inyectores poseen fallos, por lo que no se podrá sugerir el cambio de nuevos inyectores.
- Al no tener un limpiador adecuado no se podrá garantizar la limpieza del interior inyector donde se acumulas las partículas contaminantes y cristalizadas.

Al no contar con máquinas especializadas para la limpieza de inyectores, es común que la mayoría de pequeños talleres como el Servicio Automotriz “Los Nogales” no brinden un servicio óptimo. Por esa razón optan por enviar a otros establecimientos donde se posee dichas máquinas, o como último recurso, el procedimiento de limpieza se realiza de forma manual.

En el caso específico del Servicio Automotriz “Los Nogales” envían los inyectores a otro establecimiento donde se realiza su respectivo lavado. Generando pérdidas de ganancias y desconfianza en sus clientes porque envían a otro lugar para realizar el trabajo.

Al ser necesario la revisión después de 50 mil kilómetros, se hace indispensable tener un registro de los trabajos realizados. El establecimiento no maneja un registro de los trabajos por lo que el cliente desconoce del estado de sus inyectores y solo se remite a pagar una factura generada por otros establecimientos creando así desconfianza por parte de los clientes.

El objetivo general es generar un sistema automático para realizar pruebas de operación, reposo y limpieza de inyectores de gasolina.

Los objetivos específicos son:

Estudiar el funcionamiento teórico–práctico de los inyectores mediante investigación y datos técnicos para identificar su funcionamiento y los procesos de limpieza.

Diseñar el hardware y software para automatizar la ejecución de las pruebas de operación y la limpieza de inyectores utilizando circuitos electrónicos y tarjetas de desarrollo.

Desarrollar un sistema SCADA para que el usuario pueda controlar y monitorear el funcionamiento del probador y limpiador automático de inyectores.

Realizar pruebas de funcionamiento de la máquina creada para validar su eficiencia y eficacia en hardware y software.

El Servicio Automotriz “Los Nogales” no cuenta con un banco probador y limpiador de inyectores debido a los elevados costos de este equipo en el mercado nacional. Por este motivo el proceso de limpieza se lo realiza manualmente o se los envía a otros lugares donde se posee dicho equipo.

La construcción de esta herramienta permitirá al establecimiento brindar a sus clientes servicio de pruebas automatizadas y limpieza por ultrasonido de los inyectores. Además, este poseerá: un sistema SCADA donde se podrá observar en un monitor los resultados de cada prueba y visión artificial mediante una cámara web que determinará los porcentajes de volumen de líquido de banco de pruebas en cada probeta. También se implementará una base de datos para llevar registros detallados y resultados de cada prueba de operación realizadas a los inyectores de los vehículos.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se habla sobre los sistemas de inyección electrónica de cómo están compuestos. Las características de los bancos de pruebas y de los limpiadores por ultrasonido, se detalla las pruebas que se realizan a los inyectores para saber su estado. También se habla de la visión artificial y de los sistemas SCADA que se implementa en este proyecto.

1.1. Sistema de inyección electrónica

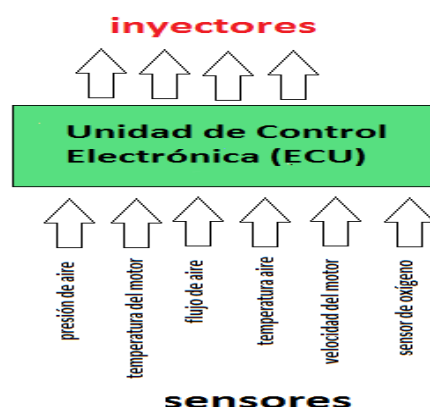
Hoy en día los motores de combustión interna requieren una cantidad dosificada de aire-combustible para su desempeño y correcto funcionamiento. El sistema encargado de entregar la mezcla adecuada es el sistema de inyección electrónica. Dosifica la mezcla en una relación 14,7 kg de aire por 1 kg de combustible y entrega dicha mezcla a los cilindros donde se produce la combustión.

El sistema de inyección electrónica consta de varios sensores para la medición de parámetros puntuales como:

- Cantidad y/o temperatura de aire que llega al motor
- Temperatura del motor
- Aceleración del vehículo
- Cantidad de gases contaminantes
- Velocidad de giro del cigüeñal

Además consta de una unidad de control electrónica (ECU por sus siglas en inglés) a la cual se le envía todos estos parámetros medidos para controlar y regular la cantidad de combustible que entregan los inyectores y así tener una correcta mezcla de aire-combustible (Orovio, 2010). La Figura 1.1 muestra los elementos que conforman un sistema de inyección electrónica.

Figura 1.1 Sistema de Inyección Electrónica



Fuente: Esquema de trabajo de sensores e inyectores, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

1.2. Inyector de gasolina

Un inyector de gasolina es un electroimán desde el punto de vista eléctrico. Cuando circula corriente eléctrica por el devanado de su bobina, ésta corriente genera un campo magnético que ejerce una determinada fuerza de atracción sobre la armadura. En el caso de éste componente constituye la aguja de obturación del paso de combustible.

Los inyectores están controlados por la unidad de control electrónica del motor, la cual envía impulsos y señales para abrir y cerrar el inyector, permitiendo el paso del combustible hacia los orificios dosificadores que tienen los inyectores. El sistema de inyección electrónica depende del buen funcionamiento de los inyectores ya que son los encargados de suministrar combustible al motor; estos se mantienen abiertos entre dos y quince milisegundos aproximadamente, dependiendo de las condiciones de trabajo (Fuseau, Gonzalez, & Proaño, 2016).

1.2.1 Impurezas en los inyectores

Las fallas que se producen en los sistemas de inyección electrónica en su mayoría se deben a la suciedad que se presentan en los inyectores. Aparecen cada período de tiempo debido a partículas y químicos contaminantes presentes en la gasolina. Estas partículas contaminantes se acumulan en el interior del inyector y debido a la temperatura se cristalizan y se adhieren a las paredes del inyector los cuales hacen que el inyector falle y no trabaje de manera correcta.

La mejor manera de mantener los inyectores en buen estado y evitar fallos es limpiándolos. Los propios fabricantes recomiendan limpiarlos cada 50 mil kilómetros; para ello se emplean varias técnicas de limpieza como:

- **Limpieza con aditivos:** El aditivo o agente limpiador se agrega directamente al depósito de combustible donde ambos se mezclan, así sus componentes actúan sobre las partículas contaminantes presentes en el depósito y en los circuitos.
- **Limpieza por barrido:** Su proceso es manual, el sistema implementa un líquido de limpieza que se acopla al riel de inyectores donde se expulsa dicho líquido mientras el motor está encendido, logrando así limpiar los inyectores mientras estos trabajan.
- **Limpieza por ultrasonido:** Es el sistema más efectivo, es necesario desmontar los inyectores y trabajar con ellos en un banco de pruebas para conocer la estanqueidad, pruebas de operación, fallos frente a condiciones reales de trabajo, etc. Cuando se los ha analizado se procederá a la limpieza sumergiéndolos en una tina cubierta de un agente especial de limpieza donde se generarán los pulsos de ultrasonido devolviendo así sus condiciones normales de funcionamiento (Núñez & Villamar, 2017).

1.2.2 Pruebas de funcionamiento de los inyectores

Es necesaria la verificación del estado de cada uno de los inyectores por medio de un banco de pruebas. Por ello se necesita desmontarlos del motor y diagnosticar el tipo de problema presente en cada inyector.

El banco de pruebas simula el trabajo real que realiza un inyector y sus posibles problemas. Se realizan varias pruebas de operación entre las principales tenemos las siguientes:

- **Prueba de estanqueidad:** En este testeo se mantienen los inyectores cerrados, y se enviará una presión de combustible por parte de la bomba para verificar posibles fugas presentes en los inyectores.

- **Prueba de simulación:** En este testeo, los inyectores simulan el incremento de velocidades, de una velocidad baja a una velocidad alta, simulando el modo de operación que tiene un motor de combustión interna en repetidas ocasiones.
- **Analizador de diferencia volumétrica:** En este testeo se podrá evidenciar las posibles desigualdades en la entrega de combustible causada por obstrucciones de suciedad en los inyectores.
- **Analizador en funcionamiento:** Este testeo, se usa para detectar fallas intermitentes de los inyectores, se analizará los inyectores por un tiempo prolongado y simulando las condiciones reales de temperatura y trabajo (Perez, 2015).

1.3. Convertidores de Corriente

En la electrónica de potencia, existen 4 tipos de convertidores de corriente, que se utilizan con frecuencia:

- Rectificadores AC-DC
- Convertidores DC-DC
- Inversores DC-AC
- Reguladores AC-AC

1.3.1 Rectificadores AC-DC

Los rectificadores AC-DC utilizan diodos para realizar la rectificación de la señal. El diodo permite el paso de la energía en un solo sentido, como la energía alterna tiene una componente positiva y negativa, el diodo permite el paso de una sola componente (Guevara, 2014).

1.3.2 Convertidores DC-DC

Los convertidores DC-DC elevan el voltaje de salida usando bobinas y capacitores. Para ello se utiliza circuitos conmutados; el funcionamiento de estos circuitos es de la siguiente manera: carga la bobina o capacitor y luego se descarga, esto se realiza

una y otra vez. Existen varias configuraciones para estos convertidores, entre los más conocidos están: buck, boost, buck-boost (Convertidores DC/DC, 2015).

1.3.3 Reguladores AC-AC

Los reguladores AC-AC cambian la energía eléctrica alterna de entrada en energía eléctrica alterna, pero con la amplitud, frecuencia y fase diferente. Se los utiliza en sistemas monofásicos, bifásicos o trifásicos (Condori, n.d).

Para realizar el control de la amplitud se utiliza dos métodos: conmutación física usando SCR o TRIAC, y conmutación forzada usando tiristores, transistores de potencia IGBT. Para cambiar la frecuencia se utiliza un SCR, y se controla cuando permite el paso de la energía como se indica en la Figura 1.2 con esto se cambia la forma de onda final, por ende se cambia la frecuencia (Condori, n.d).

Figura 1.2 Control de Frecuencia con SCR



Fuente: <https://sites.google.com/site/tiristorescircuitos/scr-en-ac>

1.3.4 Inversores DC-AC

Es un sistema de potencia que convierte la entrada DC a una salida AC, para cambiar de DC a AC los inversores utilizan circuitos electrónicos y filtros. Los filtros son necesarios para hacer que la corriente resultante no tenga picos que puedan dañar los aparatos eléctricos a los cuales se les va a energizar (Curiosoando, 2014).

Se los utiliza en aplicaciones como: el control de la velocidad de los motores de inducción donde se varía la frecuencia de salida, en sistemas de alimentación ininterrumpida, la calefacción por inducción, las fuentes de respaldo y las de poder. Los inversores se pueden clasificar en inversores monofásicos e inversores trifásicos (Hart, 2001).

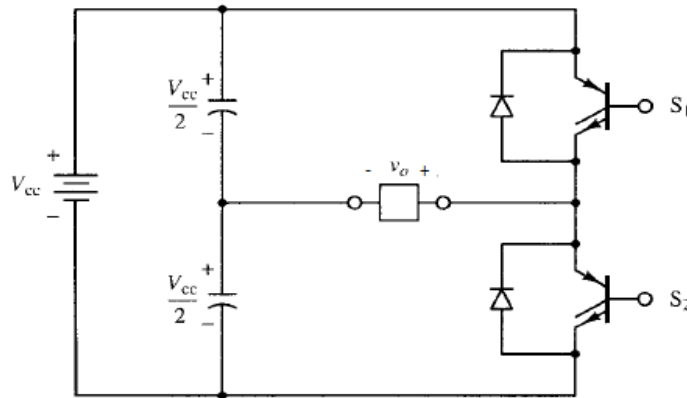
1.3.5 Inversor monofásico en medio puente

El funcionamiento del inversor en medio puente se indica mediante la Figura 1.3. La tensión de la fuente continua V_{cc} se divide en dos partes mediante capacitores. Cuando S_1 se cierra la tensión de salida es $-V_{cc}/2$. Cuando S_2 se cierra la tensión en la carga es $+V_{cc}/2$ por lo que esta configuración hace que la tensión en la carga sea la mitad de la que hay en la batería. Se necesita de un tiempo muerto con la finalidad de que S_1 y S_2 no estén activos al mismo tiempo, de esta manera se evita un cortocircuito en la fuente. Los diodos presentes en el circuito son necesarios para garantizar la continuidad de la corriente en cargas inductivas (Hart, 2001).

La tensión eficaz de salida V_o viene dado por la siguiente ecuación:

$$V_{o(RMS)} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} \frac{V_{cc}^2}{4} dt} = \frac{V_{cc}}{2} \quad \text{Ec (1.1)}$$

Figura 1.3 Inversor monofásico medio puente



Fuente: Esquema del circuito inversor monofásico en medio puente, (Hart, 2001)

1.4. Sonido

En física el sonido se define como un fenómeno que se propaga en forma de ondas elásticas, estas pueden ser o no audibles. El sonido que los humanos escuchan son oscilaciones de presión de aire que son convertidas en ondas mecánicas en el oído humano y procesado por el cerebro (EcuRed, 2018).

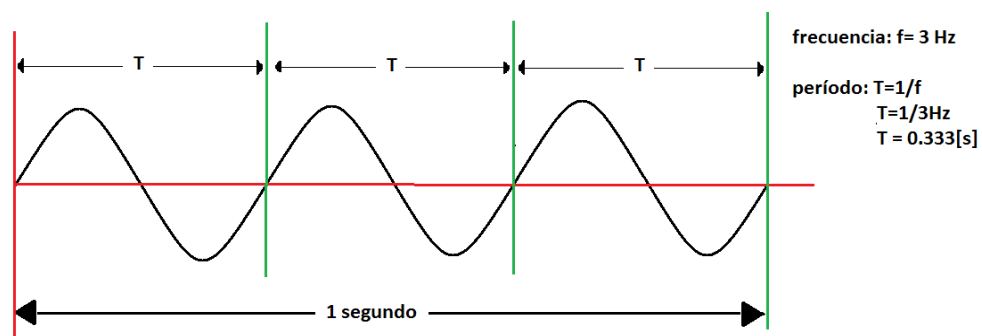
El sonido se transmite por un medio que tiene las cualidades de: ser elástico, tener masa e inercia. Las características del medio es que no es dispersivo, es decir las ondas se propagaran a la misma velocidad sin importar la frecuencia de las mismas. Otra característica es que el medio no es homogéneo, el sonido se propaga esféricamente en todas las direcciones (Física del sonido, n.d).

Un sonido se diferencia de otro por sus características especiales como: Frecuencia, Período de onda, Longitud de onda y Velocidad de propagación.

- **Frecuencia (f):** Es el número de veces que se repite la onda en una unidad de tiempo, se mide en Hertzios (Hz), de manera que 1 Hz = 1 ciclo por segundo (5-Frecuencia (Hz), 2018).
- **Período de onda (T):** Es el tiempo que se demora en dar un ciclo o vuelta completa una onda, se representa con la letra T y su unidad es el segundo [s]. Además, es el inverso de la frecuencia (González, 2014). En la Figura 1.4 se aprecia que la onda es sinusoidal, y se repite 3 veces a lo largo de un segundo. Entonces aplicando la fórmula que se indica, el período de la onda es de 0.333 s.

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{Ec (1.2)}$$

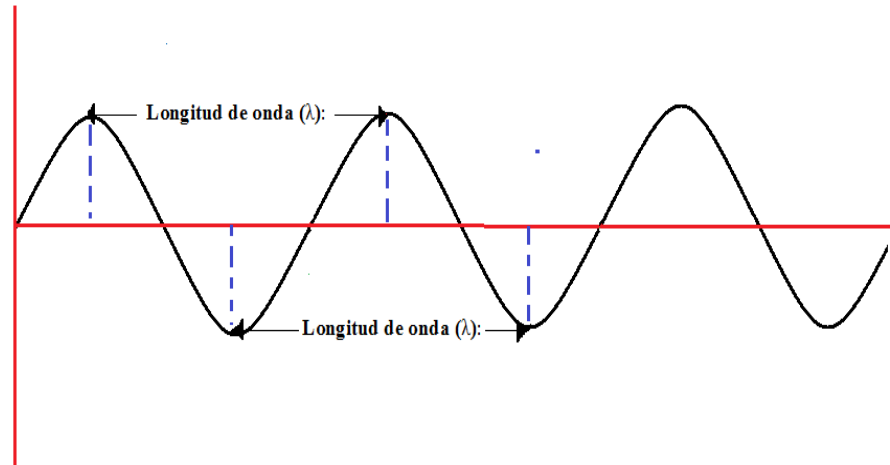
Figura 1.4 Período de onda



Fuente: Período de una onda de 3Hz de frecuencia, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

- **Longitud de onda (λ):** Según (González, 2014) “Es la distancia que separa un punto de la onda de otro punto de la onda con las mismas características”, (ver Figura 1.5).

Figura 1.5 Longitud de onda



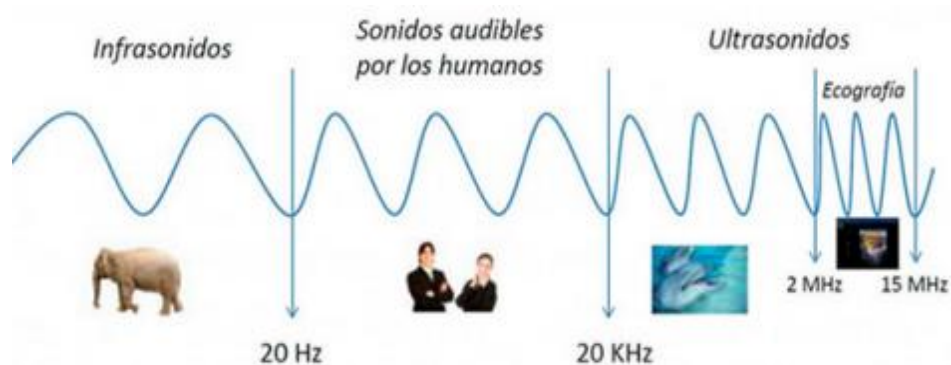
Fuente: Esquema de longitud de onda, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

- **Velocidad de propagación (v):** Es la velocidad con la que una onda se desplaza en un medio. La velocidad depende del medio por el que se desplaza y del tipo de onda (Caballero, s.n). Para calcular la velocidad se utiliza la siguiente fórmula:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda * f \quad \text{Ec (1.3)}$$

De acuerdo a su frecuencia el sonido puede clasificarse en infrasonido y ultrasonido, donde el primero oscila en los rangos de desde los 0,001 Hz hasta los 17 Hz y el segundo a frecuencias mayores de 20000 ciclos por segundo (20000 Hz), es decir, que se encuentran por encima de los límites audibles del ser humano (Serrano, 2013) como se muestra en la Figura 1.6.

Figura 1.6 Infrasonidos y Ultrasonidos



Fuente: Clasificación de una onda según su frecuencia, (Serrano, 2013)

1.4.1 Ultrasonido

El término ultrasonido hace referencia a ondas mecánicas sonoras que poseen una frecuencia superior a 20 KHz aproximadamente. Una frecuencia demasiado elevada para el oído humano, sin embargo, estas ondas de alta frecuencia tienen varias aplicaciones en los campos como la química, medicina, mecánica, etc.

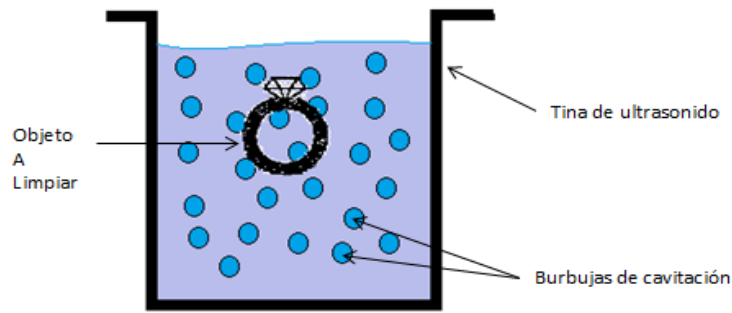
Para generar ultrasonido es necesaria la conversión de oscilaciones eléctricas las cuales son producidas mediante circuitos inversores a oscilaciones mecánicas. Para esto se utiliza un transformador de onda llamado transductor y para el caso de este proyecto, un transductor tipo piezoeléctrico (Gutiérrez, 2010).

1.4.2 Limpieza por ultrasonido

La limpieza ultrasónica se basa en la utilización de las ondas de ultrasonido de alta frecuencia que produce el transductor piezoeléctrico. Esta técnica se utiliza para eliminar la suciedad, impurezas, agentes contaminantes que se adhieren a la superficie de un cuerpo o material.

La frecuencia que se usa para la limpieza por ultrasonido varía desde 20 KHz a más de 100 KHz. Para efectuar una limpieza ultrasónica es necesaria la utilización de un líquido limpiador o un agente limpiador. El objeto a limpiar se coloca dentro de una tina tal que contiene el líquido de limpieza ultrasónica como indica la Figura 1.7, el cual conducirá las ondas generadas de alta frecuencia para producir un fenómeno físico llamado cavitación, del cual se hablará más adelante (Villavicencio, 2012).

Figura 1.7 Limpieza por Ultrasonido



Fuente: Esquema de limpieza de una pieza mediante ultrasonido, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

1.4.3 Cavitación

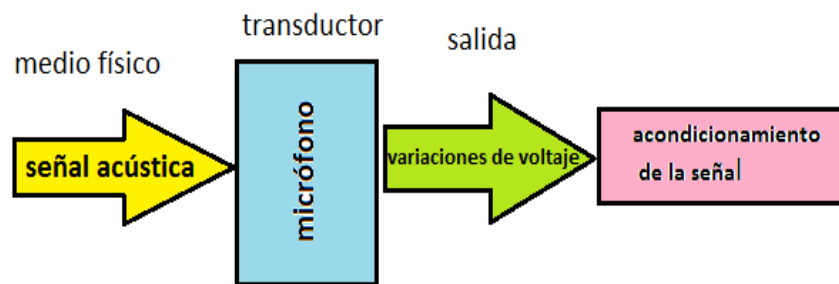
Cuando el transductor piezoeléctrico es activado mediante un circuito inversor resonante, éste vibra y crea la onda ultrasónica y través del líquido de limpieza produce las llamadas burbujas cavitación. La cavitación consiste en la generación y expansión de burbujas microscópicas en el interior del líquido de limpieza, estas burbujas crecen hasta llegar a un tamaño con un radio crítico, las cuales debido a su tamaño sufren un estallido generando gran cantidad de energía térmica y de presión.

El estallido de las burbujas entra en contacto con el elemento a limpiar lo cual permite limpiar y eliminar la capa de suciedad ya que penetra agujeros, grietas, huecos y quita fuertemente adherencias y agentes contaminantes incrustadas en las superficies de los materiales al limpiar (Soto & Lara, 2016).

1.5. Transductores

Los transductores son elementos diseñados para reaccionar ante un estímulo físico y proporcionar una salida de diferente naturaleza que generalmente es voltaje o corriente. Estas salidas que son eléctricas posteriormente pueden ser acondicionadas y convertidas de acuerdo a los requerimientos del sistema. Por ejemplo un micrófono, es un tipo de transductor electro-acústico (ver Figura 1.8) que convierte la energía acústica en señales eléctricas o variaciones de voltaje mediante las cuales se podrá aumentar su intensidad (Ozuna, 2011).

Figura 1.8 Transductor Electroacústico



Fuente: Esquema del funcionamiento de un transductor electroacústica, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

1.5.1 Transductores Piezoeléctricos

Son materiales cristalinos que generan energía mecánica en forma de onda o vibraciones a causa de señales eléctricas oscilantes, o viceversa. Un transductor piezoeléctrico está compuesto por cristales los cuales se deforman y transmiten su energía a las masas metálicas las cuales generan señales eléctricas y dependiendo del ensamblado y tipo de transductor pueden responder con altas frecuencias. Estos materiales son de construcción robusta y tamaño pequeño, los dos típicos materiales en los transductores piezoeléctricos son el titanio de bario y el cuarzo (Gutiérrez, 2010).

1.5.2 Transductores Piezoeléctricos en la limpieza por ultrasonido

Este tipo de transductor consta de dos cerámicas piezoeléctricas ubicadas una bajo la otra. El conjunto es apretado mediante un tornillo que en sus extremos poseen partes metálicas de aluminio y acero, a esta configuración del transductor es conocido como tipo sándwich (ver Figura 1.9). Las frecuencias de trabajo de cada transductor vienen establecidas de acuerdo a cálculos los cuales determinan su estructura mecánica y dimensiones. Teniendo esto en cuenta se determina los rangos de frecuencia de trabajo, los cuales deben ser similares a la onda de ultrasonido que se quiere aplicar a dicho transductor piezoeléctrico. Este tipo de transductor es puesto en contacto con la base de una tina de acero inoxidable. El extremo de aluminio es la que se pondrá en contacto con la base de la tina, mientras que la parte de acero quedará del otro lado y alejada de la tina. Con eso se logra que la transferencia de vibración desde las cerámicas hasta la tina sea lo más eficiente posible y reduzca la impedancia acústica entre el líquido y las cerámicas (Ortiz & Vinueza, 2007).

Figura 1.9 Transductor Piezoeléctrico tipo sándwich



Fuente: Fotografía del transductor tipo sándwich a usar, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

1.6. Visión Artificial

Es una técnica que se basa en la adquisición de imágenes o frames para luego ser procesadas, para extraer y obtener información. Combina la información que proporcionan las cámaras de video con el procesamiento de imágenes. Las cámaras de video pueden ser estacionarias (cámaras del ECU 911) o móviles como de celulares o de drones (Cajas Idrovo & Viri Ávila, 2017).

En la industria la visión artificial integran sistemas que capturan imágenes digitales, sensores, dispositivos de entrada-salida para controlar equipos destinados a la fabricación de partes (Cajas Idrovo & Viri Ávila, 2017). Haciendo uso de la visión artificial se puede adquirir datos de un sistema para luego procesarlos y tomar acciones dependiendo de los valores de los datos (Malpartida, 2003).

En el campo de la industria automotriz la visión artificial se usa en diferentes aplicaciones, por ejemplo en el control de la calidad de piezas cromadas (Vargas Baeza, 2009). También se utiliza para controlar coches autónomos, obteniendo imágenes de lo que rodea al automóvil, se reconoce personas, señales de tránsito u otros autos.

1.7. Sistemas SCADA

Los sistemas SCADA fueron diseñados para tener un control centralizado de los procesos industriales que se encontraban ubicados en zonas geográficamente separadas (Dpto. de Automatización y Control Industrial, n.d). Este sistema sirve

para la supervisión, control y adquisición de datos de un proceso. La automatización con SCADA permite a las industrias ser competitivas permitiendo funcionar de una forma rápida y eficiente, minimizando los costes de producción (WonderWare, 2018).

Las características que presenta este sistema son:

- Adquiere, procesa y almacena información para ser utilizada dentro del proceso productivo de la empresa.
- Puede representar gráficamente los procesos y controlar las variables involucradas en los procesos, además de implementar alarmas.
- Posee una arquitectura abierta y flexible que permite la expansión del sistema de ser necesario.
- Permite la conectividad con diferentes aplicaciones industriales que estén siendo aplicadas dentro de la industria.
- Puede monitorearse los procesos de forma remota, sin necesidad de que el supervisor se encuentre presente en la planta.
- Con los datos obtenidos y almacenados permite mejorar la gestión de calidad y la gestión de la producción.

Son bastantes las características que hacen atractiva la implementación de sistemas SCADA en las industrias, gracias a estas características se puede tener mejor control de la planta y de los procesos que tienen lugar al producir productos (Oasys , n.d).

1.8. PWM

Modulación por ancho de pulso o PWM por sus siglas en ingles está formada por una señal de onda cuadrada. Las señales PWM pueden variar entre dos estados de tensión, 5V y 0V, cuando la señal está en alto se refiere a que tiene una tensión de 5V, si la señal está en bajo se refiere a que tiene una tensión de 0V. En la Figura 1.10

se indica: el tiempo que la señal permanece en 5V se denomina Ton y el tiempo que permanece en 0V se denomina Toff (Gómez, 2017).

El ciclo de trabajo o ancho de pulso (Duty Cycle) es una característica importante de los PWM porque esto permite modificar sus características. Para cambiar el valor de un PWM lo que se hace es modificar los tiempos de apertura de señal (Gómez, 2017). Para calcular el ciclo de trabajo se utiliza la siguiente fórmula:

$$DC = \frac{T_{on}}{T} \times 100 \quad \text{Ec (1.4)}$$

Donde:

DC : Ancho de pulso o Duty Cycle.

T_{on} : Tiempo en el que la señal permanece en alto.

T : La suma entre T_{on} y T_{off}

Figura 1.10 Ciclo de trabajo

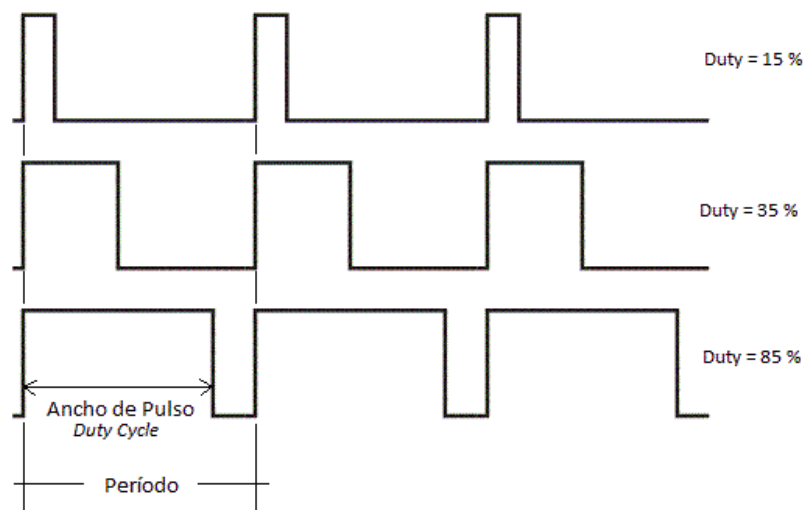


Fuente: Gráfico indicado el ciclo de trabajo y el Ton, Toff, Gómez, E. (2017)

Al variar el ciclo de trabajo de una señal PWM se logra variar la tensión media que un dispositivo electrónico recibe para su funcionamiento. Esto provoca que el comportamiento de ese dispositivo cambie, por ejemplo: la velocidad.

En la Figura 1.11 se indica gráficamente el período de la señal PWM y el ancho de pulso o ciclo de trabajo que componen a dicha señal. Modificando los valores del ancho de pulso se modifica el valor que genera el PWM (Gómez, 2017).

Figura 1.11 Período y ancho de pulso



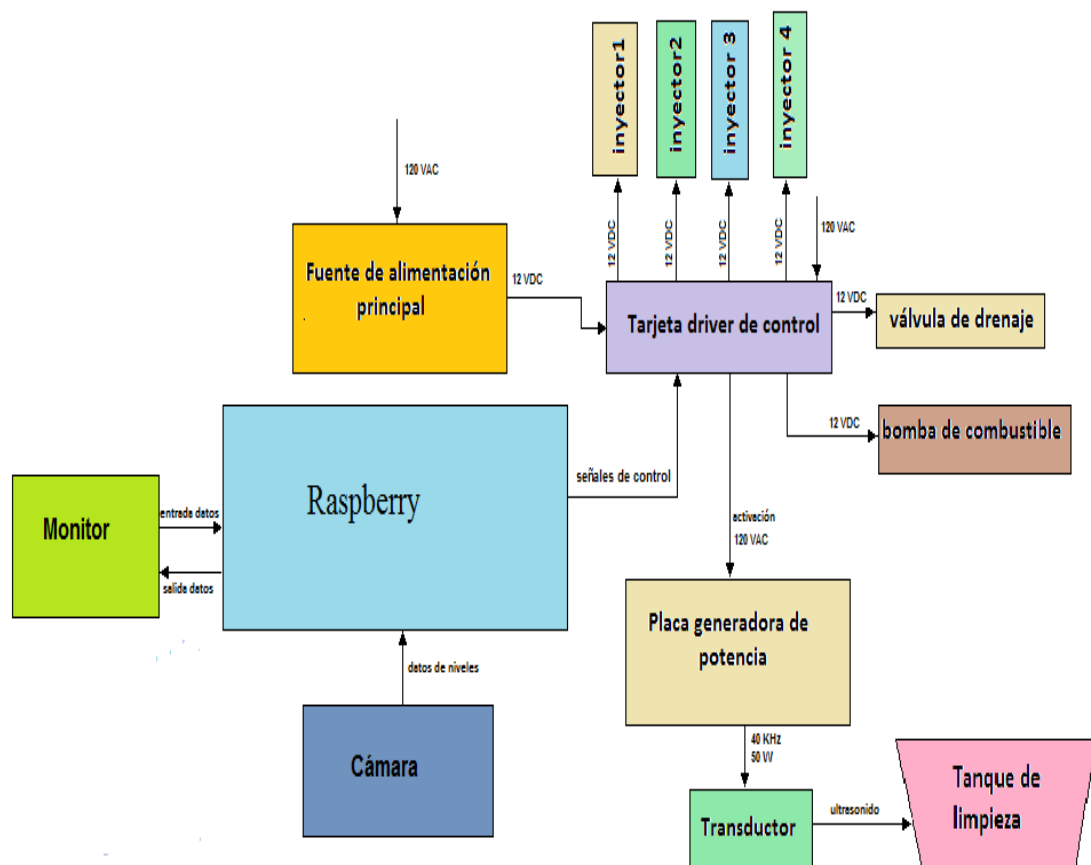
Fuente: Gráfico con el período y el ancho de pulso de una señal PWM, (Rangel, Rodríguez, Rodríguez & Hernández, 2016)

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE

Este proyecto se compone de dos partes fundamentales: el banco de pruebas de inyectores y la lavadora por ultrasonido; en la primera se comprobará el estado de cada uno de los inyectores aplicando cinco pruebas diferentes para verificar su estado de operación y si estos necesitan ser lavados o no, y la segunda parte, la lavadora por ultrasonido, una vez determinado el estado de los inyectores estos requerirán o no una limpieza profunda por medio de dicho sistema, estos procesos se realizan desde una interfaz programada en una tarjeta Raspberry Pi 3. En la Figura 2.1 se indica un diagrama de todos los sistemas que conforman el proyecto.

Figura 2.1 Diagrama de bloques del proyecto



Fuente: Diagrama de bloques de los sistemas que conforman el proyecto, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

2.1 Componentes y Sistemas

Para el funcionamiento tanto del banco de pruebas como de la lavadora por ultrasonido se requirió de los siguientes componentes y sistemas que se detallarán a continuación.

2.1.1 Unidad principal de control

Para la unidad de control principal se usó la tarjeta Raspberry Pi 3 model B (ver Figura 2.2), que es la encargada de ejecutar las órdenes hacia los demás componentes; dentro de ésta se realiza la programación mediante el software Python para la ejecución de las pruebas de operación de los inyectores, bases de datos, interfaz gráfica y visión artificial.

Figura 2.2 Raspberry Pi 3



Fuente: Descripción física de la Raspberry Pi 3 con su carcasa, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

2.1.2 Fuente principal de alimentación

En la Figura 2.3 se muestra la fuente conmutada GPZA-300U-12 que se encarga de suministrar energía a todos los compontes y sistemas que conforman el proyecto.

Figura 2.3 Fuente conmuta GPZA-300U-12



Fuente: Descripción física de la fuente principal de alimentación, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Tabla 2.1 se muestra las características principales de la fuente de alimentación GPZA-300U-12.

Tabla 2.1 Características técnicas de la fuente

Características generales de la fuente de alimentación	
Voltaje de Entrada	90-132 Vac / 176 a 264 Vac
Voltaje de salida	12Vdc
Corriente de Entrada	3.7 A
Corriente de Salida	25 A
Frecuencia	43-67 Hz
Dimensiones	21 cm x 11 cm

Fuente: Tabla de las características de la fuente principal de alimentación, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

2.1.3 Sistema Hidráulico

La función del sistema hidráulico es enviar a presión mediante una bomba eléctrica el líquido del banco de pruebas, el cual va desde el tanque que contiene el líquido hasta los inyectores, pasando por un manómetro para verificar su presión. En la Figura 2.4 se muestra dos componentes del sistema hidráulico como son: válvulas de drenaje y acople en “T” de 5/8.

Figura 2.4 Componentes del sistema hidráulico



Fuente: Imagen de las electroválvulas y acople 5/8 en “T”, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

2.1.4 Tarjeta driver de control

La tarjeta driver de control se ilustra en la Figura 2.5 y se encarga de adaptar las señales que envía la Raspberry en señales de 12 VDC, las cuales son necesarias para controlar a los inyectores, a la bomba de presión, a las válvulas de drenaje y al relé de activación del ultrasonido; además esta tarjeta se encarga de separar la tierra de la Raspberry de la tierra de los circuitos de potencia de los actuadores mediante opto-acopladores.

Figura 2.5 Tarjeta driver de control



Fuente: Descripción e imagen física de la tarjeta driver de control, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

2.1.5 Sistema de Ultrasonido

El sistema de ultrasonido consta de las siguientes partes: tarjeta generadora de alta frecuencia, transductor piezoeléctrico y tina de limpieza tal como se muestra en la Figura 2.6.

La tarjeta generadora de alta frecuencia genera 40 KHz y 50 W, los cuales son necesarios para el funcionamiento del transductor piezoeléctrico, dicho elemento está adherido al tanque de limpieza; gracias a la alta frecuencia y potencia el transductor vibra y genera las oscilaciones de ultrasonido.

Figura 2.6 Elementos del sistema de ultrasonido

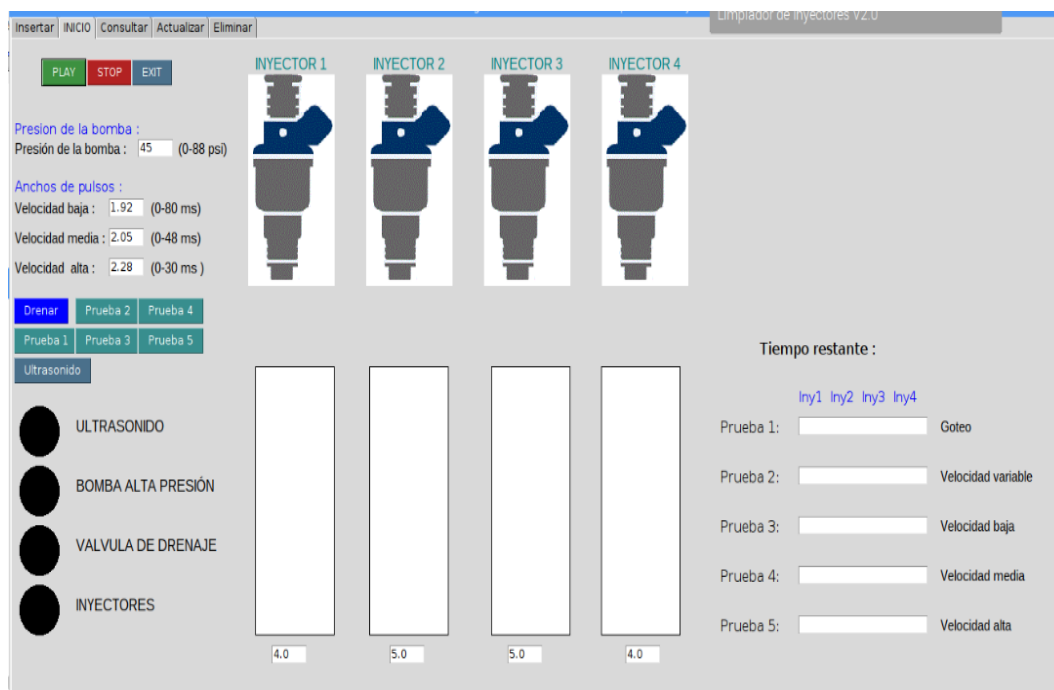


Fuente: Imagen de la placa generadora de alta frecuencia y transductor piezoeléctrico, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

2.1.6 Sistema SCADA

El sistema SCADA (ver Figura 2.7) tiene una interfaz de control, animaciones y base de datos; fueron programadas en la tarjeta Raspberry mediante el software Python; este sistema se encarga de controlar y monitorear las distintas pruebas de operación aplicadas a los inyectores, además de llevar un registro de datos de clientes con los resultados de cada una de las pruebas.

Figura 2.7 SCADA

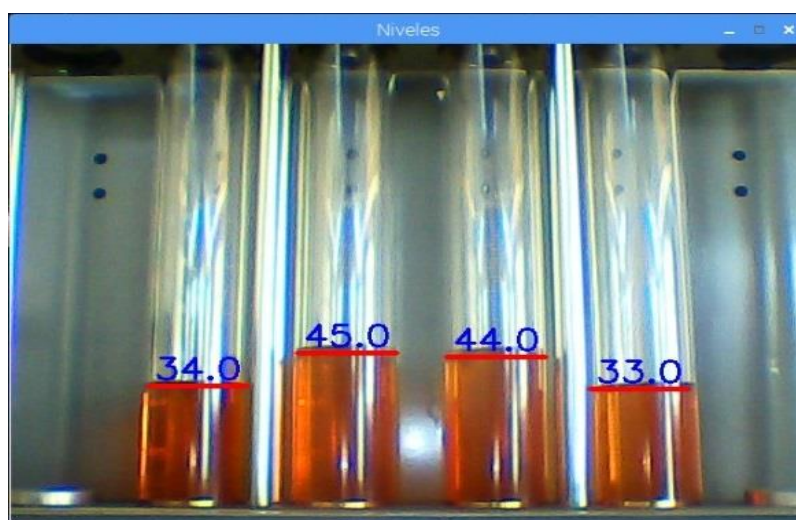


Fuente: Imagen del sistema SCADA desarrollado en el software Python, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

2.1.7 Sistema de visión artificial

El sistema de visión artificial mediante una cámara web es el encargado de observar y procesar los distintos volúmenes que arroja cada uno de los inyectores en las probetas de acuerdo a las pruebas aplicadas y que se presentan en la ventana “Niveles” como se ilustra en la Figura 2.8; mediante estos volúmenes se conoce el estado de cada uno de los inyectores.

Figura 2.8 Visión artificial



Fuente: Captura de los volúmenes en las probetas mediante una cámara de video, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

2.1.8 Componentes mecánicos y estructurales del banco de pruebas

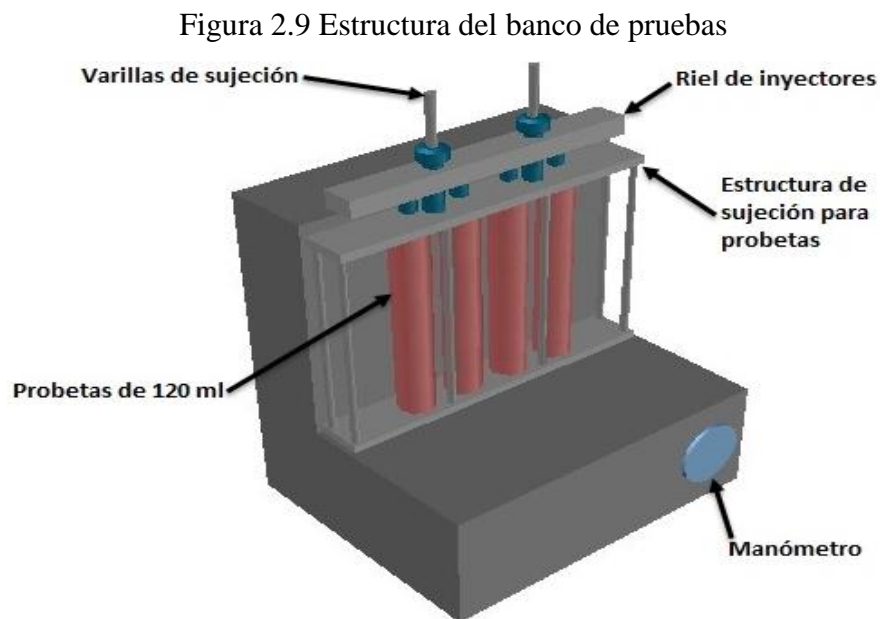
Las características del banco de pruebas de inyectores de gasolina se muestran en la Tabla 2.2:

Tabla 2.2 Características del banco de pruebas

Características generales	
Dimensiones	400 mm largo x 510 mm ancho x 450 mm alto
Peso	25Kg
Capacidad máxima de tanque	2.4 lt
Cantidad máxima de pruebas de inyectores	4 unidades
Capacidad máxima de líquido en probetas	120 ml

Fuente: Tabla de las características generales del banco de pruebas, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

La estructura del banco de pruebas se lo observa en la Figura 2.9 donde se indican sus componentes mecánicos.



Fuente: Banco de pruebas con sus elementos realizado en AutoCAD, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

2.2. Montaje de la estructura mecánica para el banco de pruebas

Para el banco de pruebas se decidió importar su estructura de apoyo de probetas, riel de inyectores y acoples para distintos inyectores con la empresa Ignis Training la cual es una compañía distribuidora de piezas y herramientas automotrices.

Figura 2.10 Estructura mecánica del banco de pruebas



Fuente: Estructura mecánica del banco de pruebas, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 2.10 se observa la estructura del banco de pruebas, se importó este componente porque es la base del proyecto.

Para medir el nivel de líquido que entregan los inyectores en las pruebas se necesitan de 4 probetas (ver Figura 2.11), graduadas de 120ml cada una, las cuales son acopladas a la estructura principal. Los diagramas del banco de pruebas con las probetas se encuentran en el Anexo 1.

Figura 2.11 Probetas graduadas de 120 ml



Fuente: Probetas para el banco de pruebas, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

2.3. Montaje del sistema hidráulico

El sistema simula el trabajo que realiza la bomba de gasolina de un motor de combustión interna en el banco de pruebas. La estructura mecánica posee un depósito o tanque en el cual se encuentra el líquido para el banco de pruebas, dentro de este tanque también se encuentra la bomba de alta presión la cual se encuentra sellada por una tapa plástica que evita que partículas de polvo entren al tanque de depósito y lleguen a contaminar el líquido.

Además, salen dos orificios, uno para la manguera hidráulica y otro para los cables de alimentación de la bomba. El sistema hidráulico está conformado por los siguientes componentes que se describen en la Tabla 2.3:

Tabla 2.3 Características del sistema hidráulico

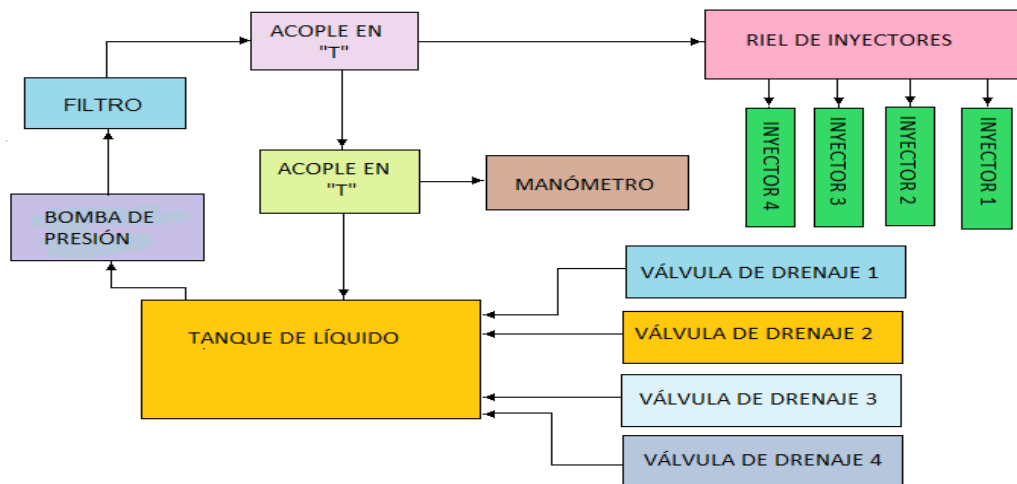
Elemento	Descripción
Bomba de alta presión	Presión 0-88 psi Flujo: 4 lt/min
Manómetro	Rango de operación: 0-150 psi
Manguera hidráulica 3/8"	Manguera para el sistema de bombeo
Manguera hidráulica 5/16"	Manguera para el sistema drenaje y manómetro
Válvulas de drenaje	Cantidad: 4 Potencia: 6.5 W c/u
Acoplamiento en "T" hidráulico	Conector A: 3/8 Conector B: 3/8 Conector con bifurcación : 5/16
Acoplamiento en "T" hidráulico	Conector A: 5/16 Conector B: 5/16 Conector con bifurcación : 5/16

Fuente: Descripción de los componentes del sistema hidráulico, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

El circuito hidráulico funciona por medio de la bomba de alta presión la cual es activada por medio de la interfaz. Dependiendo de la bomba y los requerimientos del motor del vehículo, la presión puede variar entre 0 a 88 psi, por lo general la mayoría de vehículos trabajan a una presión de 35 a 45 psi (Olvera, 2011). La Figura 2.12 indica un esquema del sistema hidráulico del banco de pruebas.

La bomba envía el líquido de pruebas a través de la manguera hidráulica de 3/8" reforzada ya que la presión es alta y este tipo de mangueras es ideal para trabajar a presiones elevadas, este líquido llega a un filtro de combustible y luego a su primer acople en "T", el cual divide el flujo en una salida para el manómetro y otra salida para el riel de inyectores.

Figura 2.12 Diagrama de bloques del sistema hidráulico



Fuente: Diagrama de bloques del sistema hidráulico, (Sañacela & Quinsasamin, 2019)

Al llegar el líquido al manómetro el flujo del líquido se divide debido a un segundo acople en “T” como se ilustra en la Figura 2.13, el cual todas sus salidas son de 5/8”, este acople sirve para el retorno del fluido hacia el tanque, al momento que el manómetro está en funcionamiento el segundo acople envía fluido de retorno hacia el tanque evitando así posibles daños a dicho elemento.

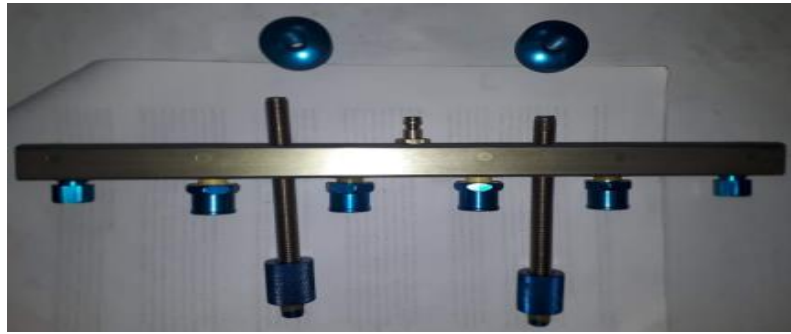
Figura 2.13 Acople en "T"



Fuente: Acople 5/8 en “T”, (Sañacela & Quinsasamin, 2019)

El flujo con alta presión llega al riel de inyectores mediante el primer acople en “T”, en dicho riel (ver Figura 2.14) los inyectores son sujetados por acoples tipo tornillo, los cuales pueden tener de diámetro 10 mm o 13 mm (ver Figura 2.15).

Figura 2.14 Riel de inyectores y varillas de sujeción



Fuente: Riel de inyectores importado con acople de 10 mm y sus varillas de sujeción, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Figura 2.15 Acoples tipo tornillo



Fuente: Acople tipo tornillo de 10 mm y 13 mm, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

La estructura mecánica permite ajustar el riel de inyectores con los inyectores en las probetas de tal manera que las agujas del inyector ingresen en la parte superior de la probeta (ver Figura 2.16) permitiendo el ajuste de estos elementos por medio de dos varillas de sujeción de 3/8.

Figura 2.16 Acoples tipo tornillo en riel de inyectores



Fuente: Acople tipo tornillo de 10 mm sujetos al riel de inyectores, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

El sistema posee un verificador de nivel (ver Figura 2.17), en la parte inferior izquierda, misma que el usuario debe verificar antes de realizar las pruebas de operación, el nivel se encuentra marcado y lo recomendable es mantenerlo y no exceder del límite establecido, de lo contrario, la bomba o el sistema podrían sufrir daños que conllevarían al reemplazo de piezas.

Figura 2.17 Nivel de líquido de pruebas



Fuente: Indicador del nivel recomendable del banco de pruebas, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Después de cada prueba, el líquido de pruebas es drenado por medio de cuatro electroválvulas, una electroválvula por cada probeta como se ilustra en la Figura 2.18. Las electroválvulas conducen el líquido nuevamente al tanque por medio de mangueras de 5/8", de esta manera se completa el ciclo del sistema hidráulico del banco de pruebas.

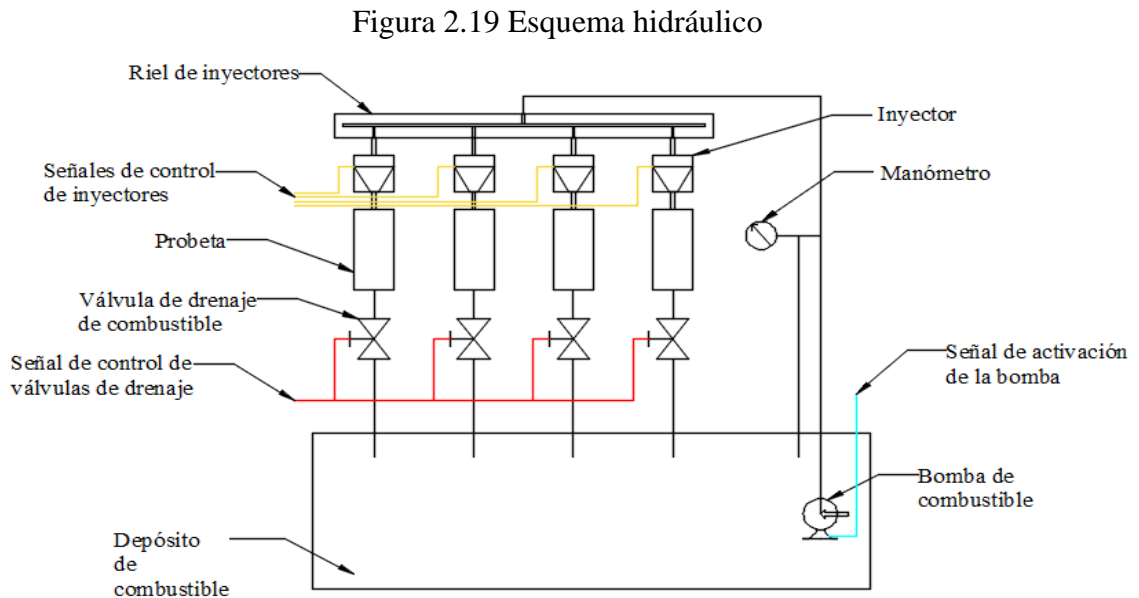
Figura 2.18 Electroválvulas



Fuente: Electroválvulas utilizadas para el drenaje del líquido de pruebas, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

El esquema hidráulico del sistema se presenta en la Figura 2.19 donde se indican sus componentes como son: el manómetro, los inyectores, la bomba, el depósito de

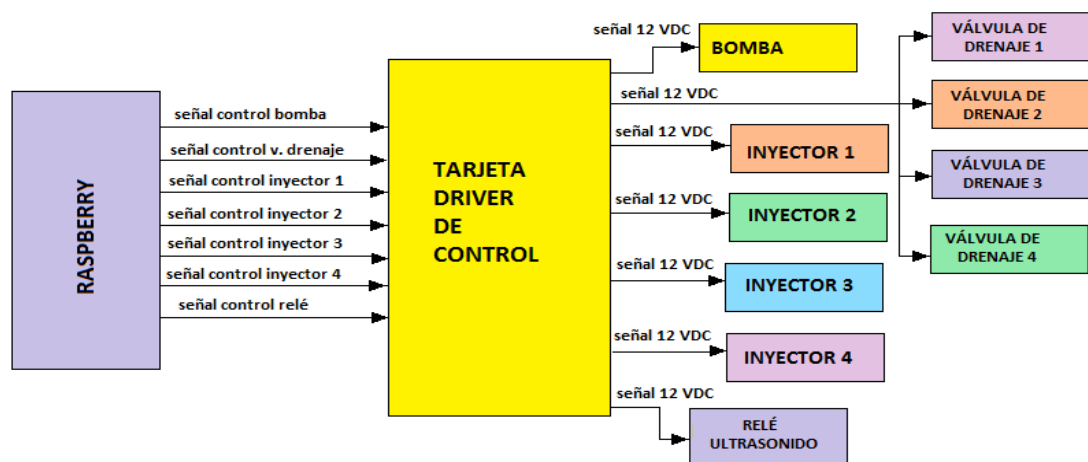
combustible, el riel de inyectores, las válvulas de drenajes y las probetas. Además, se visualiza las señales de control para los inyectores (color amarillo), la señal de control de las válvulas de drenaje (color rojo) y la señal de activación de la bomba (color turqués).



Fuente: Esquema hidráulico del sistema, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

2.4. Diseño de la tarjeta driver de control

Figura 2.20 Diagrama de bloques de la tarjeta driver de control



Fuente: Diagrama de bloques de la tarjeta driver de control, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Se diseñó un circuito que envía señales de la tarjeta Raspberry tal como se observa en la Figura 2.20, para activar o desactivar los distintos actuadores que posee el

banco de pruebas los cuales funcionan a 12 VDC, además de permitir el control del sistema de ultrasonido por medio de un relé.

Esta tarjeta posee dos tipos de circuitos los cuales son:

- Circuito control de actuadores: Permiten la activación de la bomba, de la válvula de drenaje y de los cuatro inyectores a 12 VDC.
- Circuito de control de ultrasonido: Permite la activación del sistema de ultrasonido por medio de un relé el cual entre sus contactos permitirá el paso de 120 VAC hacia la tarjeta generadora de alta frecuencia del ultrasonido.

Para la construcción de la tarjeta driver de control se han seleccionado los elementos que se indican en el Anexo 5.

2.4.1 Funcionamiento de la tarjeta driver de control

Este circuito (ver Figura 2.21) además de controlar la activación de los actuadores tales como la bomba de alta presión, válvulas de drenaje e inyectores es el encargado de separar la electrónica de potencia de la electrónica de control. Para ello se utilizó el opto-acoplador 4N25 el mismo que en su interior tiene un fototransistor bipolar NPN y un diodo emisor de luz.

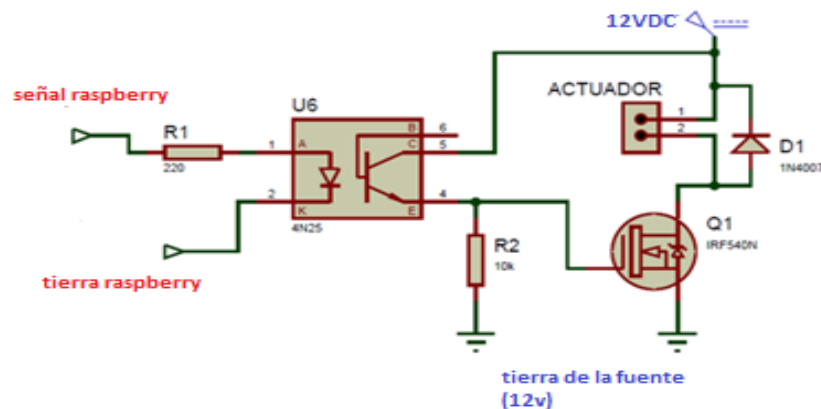
Cuando se activa el diodo emisor de luz mediante una señal emitida por la Raspberry, esta incide sobre la base del fototransistor permitiendo que conduzca la corriente entre sus terminales 5 y 4, al no tener una conexión física y directa, el circuito del diodo emisor de luz con el circuito del fototransistor permite aislar de manera segura las tierras.

El fototransistor que posee el opto-acoplador 4N25 soporta un voltaje colector-emisor máximo de 30 VDC y una corriente máxima de 100 mA, esta corriente no es suficiente para accionar los actuadores como: los inyectores, la bomba de presión o las electroválvulas de drenaje. Para activar dichos elementos además del opto-acoplador se usaron mosfet IRF540N los cuales se activan por voltaje y permiten controlar cargas y corrientes más altas. El mosfet usado soporta una tensión máxima

drenador-fuente de 100 V y una corriente máxima continua de drenaje de 33 A, ideal para controlar los actuadores que posee este circuito.

Por la resistencia R1 de 220Ω cruza una señal proveniente de la Raspberry que activa al opto-acoplador 4N25; el pin 5 se conecta a la fuente principal de 12 VDC. Entre el pin 4 del integrado y la tierra de la fuente se coloca una resistencia R2 de $10\text{ k}\Omega$, para reducir la corriente que entra al Gate del mosfet IRF540N.

Figura 2.21 Circuito de control para los actuadores



Fuente: Descripción del circuito de control de actuadores, (Sañacela & Quinsasamin, 2019)

El pin 4 se conecta al Gate del mosfet, Source se conecta a la tierra de la fuente, y entre Drain y el positivo de la fuente se colocó el actuador; para protección del actuador contra corrientes inversas se colocó un diodo D1 1N4007 en paralelo al actuador polarizado inversamente. El circuito se lo diseñó e implementó teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

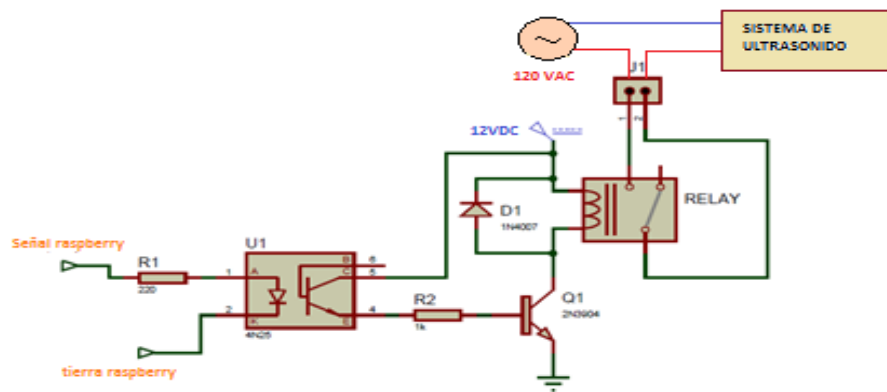
- Un circuito de control de actuadores se usó para la activación de la bomba de alta presión.
- Cuatro circuitos de control de actuadores se usaron para la activación de los cuatro inyectores respectivamente.
- Un circuito de control de actuadores se usó para la activación de las cuatro electroválvulas de drenaje.

En total se utilizó seis circuitos de control de actuadores, los cuales controlan a nueve actuadores (1 bomba de presión, 4 inyectores y 4 electroválvulas).

2.4.2 Funcionamiento del sistema de ultrasonido

La Figura 2.22 muestra el circuito para la activación del sistema de ultrasonido en la que se usa un relé el cual se activa con 12 VDC; la tarjeta Raspberry como se mencionó anteriormente no maneja ese tipo de voltajes, debido a esto se emplea a la salida del opto-acoplador un transistor 2N3904 con el cual mediante una corriente de base se activa la bobina del relé. El contacto normalmente abierto (NA) del relé al conmutarse por la excitación de la bobina permite el paso de 120 VAC hacia la tarjeta del ultrasonido.

Figura 2.22 Esquema del circuito de activación del ultrasonido



Fuente: Elementos que conforman el circuito de activación del ultrasonido, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

El diodo emisor de luz recibe una señal recibe una señal de la Raspberry mediante el pin 1 del opto-acoplador 4N25 el cual lo pone en funcionamiento permitiendo el paso de corriente entre los pines 4 y 5 del opto-acoplador. En el pin 5 se conecta una fuente de 12 VDC. En el pin 4 se conecta una resistencia de 1kΩ a la base del transistor Q1 NPN 2N3904, el emisor del transistor se conecta a la tierra de la fuente; entre el positivo de la fuente y el colector se conecta la bobina del relé, el cual cuando se energice su bobina permitirá el paso de corriente alterna entre sus contactos para la accionar el sistema de ultrasonido.

2.5. Construcción de la placa PCB para la tarjeta driver de control

Explicado por separado cada uno de los circuitos que compone la tarjeta driver de control se realiza el diseño y construcción de la placa PCB, para ello se usó el software Proteus V8.1 el cual permite tener una vista general del diagrama electrónico y los elementos que conforman la placa. Realizado el esquema en el software Proteus se traza las pistas del circuito en ARES para posteriormente imprimirlos en un papel fotográfico y transferirlos mediante una plancha a una placa de circuitos o “baquelita”. La transferencia del papel fotográfico se lo realizó para ambas caras de la baquelita obteniendo en una cara los dibujos de los elementos que conforman la placa y en la otra cara las pistas de los circuitos. Luego de este proceso se procedió a perforar la baquelita, montar los elementos y soldarlos, las imágenes del diseño y construcción de la tarjeta driver de control se lo pueden ver en Anexo 2.

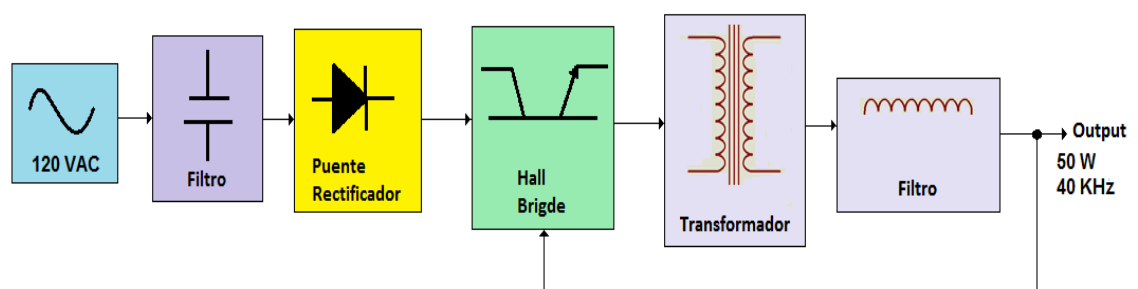
2.6. Construcción del sistema de ultrasonido

El sistema de ultrasonido está compuesto por: un circuito electrónico de alta frecuencia, un transductor piezoeléctrico tipo sándwich y la tina de ultrasonido; los materiales usados para la construcción de todo el sistema de ultrasonido de detalla en el Anexo 6.

2.6.1 Descripción del circuito electrónico de alta frecuencia.

La Figura 2.23 indica el diagrama de bloques de la tarjeta generadora de alta frecuencia, la que consta de una señal de entrada de 120 VAC, un filtro a base de capacitores, un puente rectificador, dos transistores en configuración medio puente (Hall Bridge), un transformador de alta frecuencia y un filtro a base de inductores.

Figura 2.23 Diagrama de bloques de la tarjeta generadora de alta frecuencia



Fuente: Imagen del diagrama de bloques de la tarjeta generadora de alta frecuencia, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Este sistema genera una señal de alta frecuencia con una potencia de 50 W, la cual accionará al transductor piezoeléctrico para que vibre a una frecuencia de 40 KHz, creando ondas ultrasónicas y, mediante el líquido especial que se usa para limpieza de inyectores se obtienen las burbujas de cavitación, las cuales son el componente principal del lavado por ultrasonido.

Para un mejor entendimiento el circuito de alta frecuencia se divide en los siguientes subgrupos: generador de señales, pre-amplificador y transductor los cuales al unirlos forman un circuito inversor generador de corriente de alta frecuencia (Soto, W. y Lara, M. 2016).

En la Figura 2.24 se muestra el esquema electrónico de dicha tarjeta la que consta principalmente de dos transistores NPN en topología Hall Bridge los mismos que se logra conmutar para excitar a un transformador de alta frecuencia.

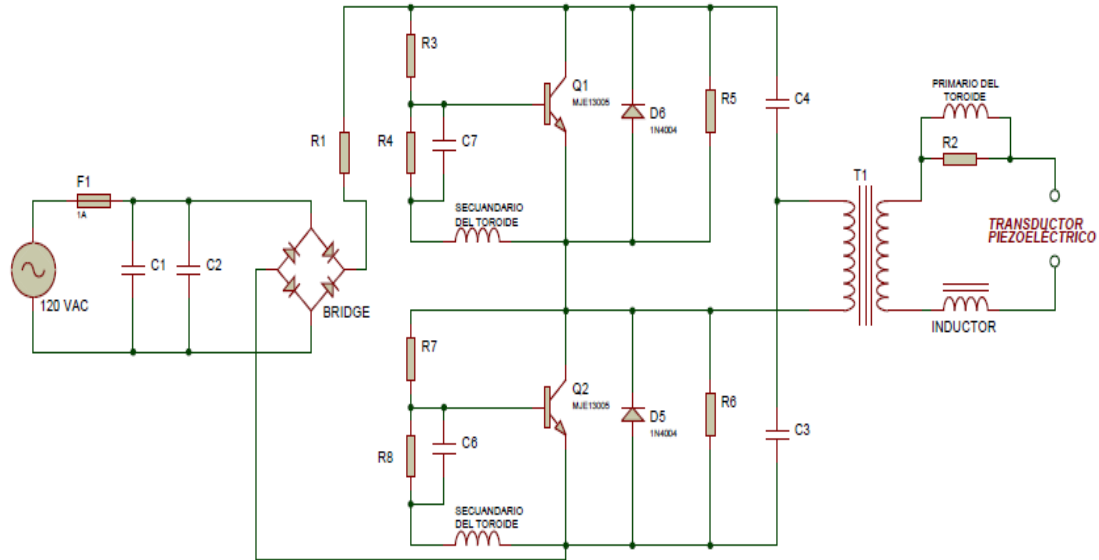
A la entrada se aplica corriente alterna de 120 VAC 60Hz. Se emplea un fusible F1 que se coloca entre la fuente de alimentación y el circuito. Además, tiene dos capacitores C1 y C2 que eliminan el ruido de altas frecuencias, pasa a un puente rectificador formado por cuatro diodos 1N4007. El voltaje rectificado pasa a los transistores MJE13005 que están conectados en una red que se acopla al puente rectificador. La señal positiva se conecta al colector de Q1 mientras que la señal negativa se conecta al emisor de Q2.

Los transistores Q1 y Q2 están conectados en serie entre si y a un transformador de alta frecuencia T1. Para lograr un cambio de fase en la corriente de polarización de los transistores Q1 y Q2, se conmutan cíclicamente de tal manera que cuando conduce el transistor Q1, el transistor Q2 no conduce, y cuando el transistor Q2 conduce, el transistor Q1 no conduce. A las salidas del transformador de alta frecuencia T1 se conectan en serie un inductor de potencia conjuntamente con el transductor ultrasónico.

Para la activación del transistor Q1 se logra mediante una red de realimentación formada por uno de los secundarios del toroide y un divisor de voltaje entre las resistencias R3 y R4 en paralelo con el capacitor C7. De la misma forma para la

activación de Q2 se da por el secundario restante del toroide y un divisor de voltaje entre las resistencias R7 y R8 en paralelo con el capacitor C6.

Figura 2.24 Esquema electrónico del circuito generador de alta frecuencia



Fuente: Esquema electrónico del circuito generador de alta frecuencia, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

2.6.2 Cálculos del circuito electrónico de alta frecuencia

A continuación, se detalla los cálculos sobre el diseño del circuito electrónico considerando los transductores de 50 W a una frecuencia de resonancia a 40 KHz para llevar a cabo el fenómeno de cavitación.

Donde:

V_{in} = voltaje de entrada

V_{out} = voltaje de salida

I_{out} = Corriente salida

f_1 = frecuencia de entrada

F_{osc} = Frecuencia de oscilación

P_o = Potencia salida

n = Eficiencia convertidor

D_{max} = Razón de servicio máximo

Los datos que se tienen son:

$$V_{in} = 120 \text{ VAC}$$

$$V_{out} = 650 \text{ VAC}$$

$$I_{out} = 1.5 \text{ A}$$

$$f_1 = 60 \text{ Hz}$$

$$F_{osc} = 50 \text{ KHz}$$

$$P_o = 50 \text{ W}$$

$n = 80 \%$ (eficiencia del inversor)

$$D_{max} = 0.48 \text{ (ciclo de trabajo)}$$

Se obtienen el valor de voltaje máximo y mínimo, y el valor de las corrientes. Al no recibir el voltaje constante de 120 VAC a veces se recibe menos voltaje y otras veces más, pero siempre en un rango de +10 VAC y -10 VAC, entonces:

$$V_{min} = 120 - 10 = 110 \text{ VCA}$$

$$V_{max} = 120 + 10 = 130 \text{ VCA}$$

$$V_{minDC} = \sqrt{2} * V_{min} \quad \text{Ec (2.1)}$$

$$V_{minDC} = \sqrt{2} * 110 = 155.56 \text{ (Voltaje DC rms)}$$

$$V_{maxDC} = \sqrt{2} * V_{max} \quad \text{Ec (2.2)}$$

$$V_{maxDC} = \sqrt{2} * 130 = 183.85 \text{ (Voltaje DC rms)}$$

$$I_{prom} = \frac{V_{out}}{n * V_{minDC}} \quad \text{Ec (2.3)}$$

$$I_{prom} = 0.522 \text{ A (Corriente promedio)}$$

$$I_p = \frac{I_{out} * I_{prom}}{D_{max}} \quad \text{Ec (2.3)}$$

$$I_p = 3 \text{ A (Corriente pico)}$$

$$I_{rms} = I_p \sqrt{D_{max} \left(\frac{2.8^2}{3} - 2.8 + 1 \right)} = 3\sqrt{0.813}$$

$$I_{rms} = 2.7 \text{ A}$$

- Cálculo del valor de la inductancia

$$L = \frac{V_{minDC} * D_{max}}{I_{max} * f_{osc}} \quad \text{Ec (2.4)}$$

$$L = \frac{155.56 * 0.26}{2.7 * 50000}$$

$$L = 374 \mu H$$

- Cálculo del número de vueltas en el primario y secundario del transformador

$$N_p = \frac{L * I_{rms}}{0.18 * 2200} \quad \text{Ec (2.5)}$$

$$N_p = 34.56 \text{ Vueltas en el primario}$$

$$N_s = \frac{V_{out} * N_p}{0.26 * V_{minDC}} \quad \text{Ec (2.6)}$$

$$N_s = 41.94 \text{ Vueltas en el secundario}$$

- Cálculo del Toroide (Ver Anexos 4)

$$R_{eq} = \frac{R}{(wRC)^2 + 1} \quad \text{Ec (2.7)}$$

$$X_{eq} = \frac{R^2 - L(w - w^3 R^2 C)}{(wCR)^2 + 1} \quad \text{Ec (2.8)}$$

Donde:

$$R = 47 \text{ K}\Omega$$

$$C = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$$

$$W = 2\pi f \quad \text{Ec (2.9)}$$

$$W = 2\pi f = 120\pi$$

$$R_{eq} = 11.4 \text{ K}\Omega$$

$$X_{eq} = 5.34 \text{ K}\Omega$$

$$|Z| = \sqrt{R_{eq}^2 + X_{eq}^2} \quad \text{Ec (2.10)}$$

$$|Z| = 12589 \text{ }\Omega$$

- Cálculo de Resonancia del Toroide

Datos:

$$C = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$$

$$L = 151 \text{ }\mu\text{H}$$

$$w_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad \text{Ec (2.11)}$$

$$w_0 = 314159.2 \text{ rad/s}$$

$$1 \text{ Hz} = 2\pi \text{ rad/s}$$

$$w_0 = 49999.957824 \text{ Hz} \approx 50 \text{ KHz}$$

2.6.3 Diseño de la placa PCB para el circuito de alta frecuencia

Al igual que en la construcción de la placa driver de control se emplea ARES del software Proteus V8.1, luego que se tiene esquema general de la placa se procede a realizar las pistas del circuito para continuar con los pasos de impresión en papel fotográfico, transferencia a la baquelita mediante plancha y quema de la placa en ácido férrico.

De igual manera que en el circuito driver de control la transferencia del papel impreso fotográfico se lo realizó para ambas caras de la baquelita obteniendo en una cara los dibujos de los elementos que conforman la placa y en la otra cara las pistas de los circuitos.

Luego de los procesos de perforación de la placa, montaje y soldadura de los elementos, la placa de alta frecuencia se la observa en la Figura 2.25. En el Anexo 3 se pueden apreciar imágenes del proceso de fabricación del circuito.

Figura 2.25 Circuito generador de alta frecuencia terminado



Fuente: Imagen del circuito generador de alta frecuencia terminado, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

2.6.4 Tina para el lavado por ultrasonido

Existen recipientes de acero inoxidable los cuales se comercializan en el mercado nacional y pueden ser usados para la limpieza por ultrasonido, dichos recipientes los venden de acuerdo al tamaño, capacidad de litros, profundidad del recipiente.

El recipiente que se seleccionó para este proyecto posee las siguientes características que se indica en la Tabla 2.4:

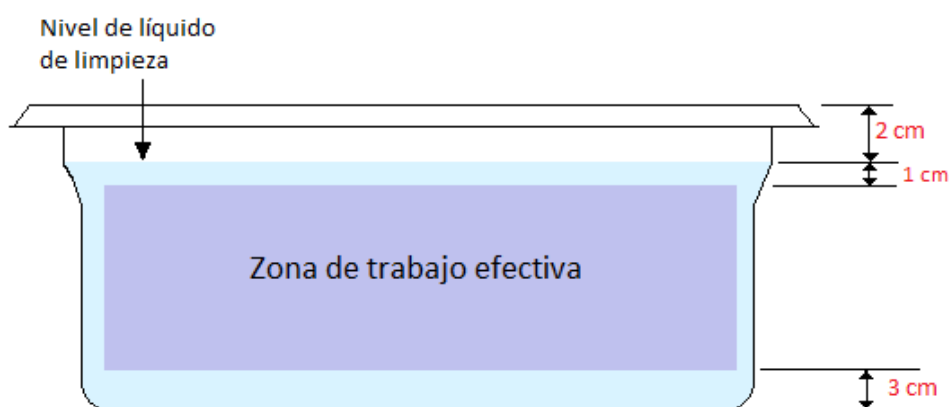
Tabla 2.4 Características generales de la tina de lavado por ultrasonido

Características generales	
Dimensiones	0.16 m largo x 0.25 m ancho x 0.10 m de profundidad
Peso	2.5 Kg
Capacidad máxima de tanque	1.8 lt
Material de fabricación	Acero inoxidable

Fuente: Tabla con las características de generales de la tina para el lavado por ultrasonido, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Por regla general de los fabricantes el líquido de ultrasonido debe estar por lo menos a 2 cm por debajo del borde superior de la tina, además se debe construir un soporte el cual ayude a los inyectores a mantenerse en una sola posición y no topar el fondo, manteniéndolos así en la zona efectiva (ver Figura 2.26) de trabajo la cual es una región que se encuentra a 1 cm del nivel líquido y a 3 cm del fondo de la tina.

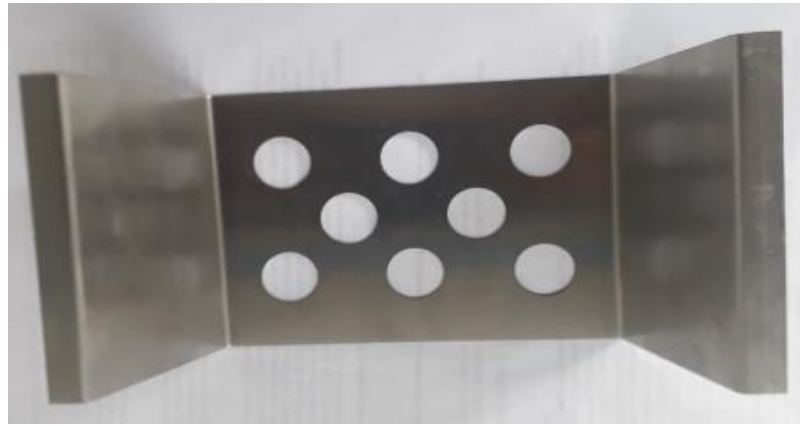
Figura 2.26 Zona de trabajo efectiva de la tina de lavado por ultrasonido



Fuente: Imagen especificando la zona de trabajo efectiva, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

El soporte para los inyectores como se indica en la Figura 2.27 se construyó teniendo en cuenta las medidas de la tina, el soporte tiene 8 orificios de $\frac{1}{2}$ " los cuales ayudan al inyector a permanecer en una posición sin moverse y evitan que topen el fondo de la tina.

Figura 2.27 Estructura para mantener a los inyectores



Fuente: Estructura para mantener a los inyectores fijos y alejados del fondo de la tina, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

2.6.5 Cálculo de la potencia del lavado por ultrasonido

Según los fabricantes de transductores y sistemas de limpieza por ultrasonido se debe tener en cuenta el nivel del líquido de ultrasonido para tener un aproximado de la potencia que va a requerir el transductor piezoeléctrico, razón por la cual sugieren una medida referencial de (70-100) W por galón de líquido (S. Giraldo Pardo).

Partiendo de este concepto se deduce la siguiente fórmula:

$$P_{req} = \frac{(L \cdot A \cdot (Al - 0.025) \cdot 1000)}{3.78} * 85 \quad \text{Ec (2.11)}$$

Donde:

L = longitud del tanque medida en metros (m)

A = ancho del tanque medida en metros (m)

Al = altura del tanque medida en metros (m)

P_{req} = potencia de los transductores que requieren en el tanque (W)

En la fórmula mencionada se tomó el valor promedio entre 70 W y 100 W que da como resultado 85 W que es la medida referencial dispuesta por los fabricantes de equipos de ultrasonido, además se redujo 2.5 cm para evitar accidentes o eventualidades que puede ocasionar el líquido de ultrasonido.

Teniendo en cuenta las consideraciones y los datos ya antes mencionados de la tina de ultrasonido se tienen los siguientes cálculos:

$$P_{req} = \frac{(0.16 * 0.25 * (0.10 - 0.025) * 1000)}{3.78} * 85$$

$$P_{req} = \frac{1.8}{3.78} * 85$$

$$P_{req} = 40.47 \text{ W}$$

De los cálculos se obtiene que: la potencia requerida por el transductor es de 40.47 W, este es un valor aproximado con el cual se procede a la selección del transductor piezoeléctrico.

2.6.6 Selección del transductor

El transductor piezoeléctrico es el encargado de emitir vibraciones de ultrasonido al expandirse y contraerse rápidamente en resonancia con la frecuencia de salida de la tarjeta generadora de alta frecuencia (TM Associates, n.d.), para realizar el proceso de lavado por ultrasonido se requiere un transductor que funcione a una potencia de alrededor de 40 W, para ello se seleccionó el siguiente transductor piezoeléctrico tipo sándwich (ver Figura 2.28).

Figura 2.28 Transductor piezoeléctrico seleccionado



Fuente: Transductor piezoeléctrico seleccionado que cumple con los requisitos, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Tabla 2.5 se muestra las especificaciones técnicas del transductor piezoeléctrico tipo sándwich seleccionado.

Tabla 2.5 Especificaciones del transductor piezoeléctrico

Especificaciones técnicas del transductor piezoeléctrico	
Frecuencia	40 KHz
Potencia	50 W
Peso	306 g
Longitud	54 mm

Fuente: Especificaciones técnicas para la selección del transductor piezoeléctrico, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

2.7 Montaje del sistema de ultrasonido

Para esta parte se procede a la unión y montaje de los elementos que conforman el sistema de ultrasonido los cuales son: placa PCB de alta frecuencia, transductor piezoeléctrico y la tina de ultrasonido.

En primer lugar, se debe adherir el transductor piezoeléctrico a la tina de ultrasonido de tal modo que éste quede adherido y no provoque pérdidas al momento de su funcionamiento.

En la Figura 2.29 se muestra el transductor adherido a la tina de ultrasonido, fue pegado con un adhesivo profesional de la marca High Tack.

Figura 2.29 Transductor acoplado a la tina



Fuente: Transductor piezoeléctrico acoplado a la tina para lavar los inyectores, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Las terminales del transductor deben conectarse a la salida de la placa PCB de alta frecuencia, dicha placa también se conectará a un enchufe tipo hembra para su respectiva alimentación con 120 VAC.

Se realizó una carcasa para recubrir toda la estructura la cual está construida de acero inoxidable de 1.5 mm de espesor y 19 cm de altura, teniendo en cuenta las dimensiones del enchufe para su alimentación; dichas estas consideraciones se obtiene el montaje final del sistema de limpieza por ultrasonido como se muestra en la Figura 2.30.

Figura 2.30 Tina de lavado por ultrasonido terminado



Fuente: Fotografías de la tina con los soportes para los inyectores y acoplado el transductor, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

CAPÍTULO 3

DISEÑO SOFTWARE

En este capítulo se redacta el diseño del software utilizado en el proyecto, se programó usando el lenguaje Python. Las pruebas de comprobación del estado de los inyectores son 5: prueba de estanqueidad o goteo, prueba de velocidad variable, prueba de velocidad baja, prueba de velocidad alta y prueba de velocidad media. La prueba de estanqueidad fue desarrollada únicamente con visión artificial, mientras que las restantes se las desarrolló generando PWM mediante la Raspberry y capturando los valores volumétricos de las probetas mediante visión artificial.

Se implementó una base de datos en la cual se guarda la fecha, el kilometraje, propietario del vehículo, número de cédula y las pruebas de operación realizadas a los inyectores, dicha base de datos fue desarrollada en MySQL, adicional a Python se instaló varias librerías OpenCV y Numpy para la ejecución del proyecto.

3.1 Software a utilizar

3.1.1 Python

Es un lenguaje de programación orientado a objetos; una de sus principales características es su fácil aprendizaje y es ideal para el desarrollo de proyectos (Van Rossum, 2009). La Raspberry Pi utilizada en este proyecto usa un sistema operativo de software libre como es Raspbian en el cual ya se encuentra instalado Python.

3.1.2 MySQL

Es una base de datos relacional, almacena la información en tablas estructuradas y es multiplataforma; es decir se puede instalar en sistemas operativos como Windows, Linux o MacOS (Navia, 2018).

3.1.3 OpenCV

Es un conjunto de librerías que están escritas en varios lenguajes, C, C++, Python y Java. Estas librerías se desarrollaron para la visión por computadora. Implementa algoritmos para el procesamiento de imágenes que fueron optimizadas (Mullo López, Molina, & Andrés, 2016).

3.1.4 Tkinter

Es un módulo de Python que se utiliza para desarrollar interfaces gráficas de usuario (GUI); se implementan estas interfaces para que el usuario tenga facilidad al momento de ingresar y visualizar datos (Angrango & Gómez, 2016).

3.2 Generación de PWM

En la Tabla 3.1, se realiza la descripción de las cinco pruebas aplicadas a los inyectores; las cuatro últimas pruebas fueron programadas generando modulación por ancho de pulso o PWM, también se muestra las velocidades y los duty cycle o anchos de pulsos que se usaron para la simular las pruebas de operación a distintas velocidades, el operario también será capaz de modificar dichos anchos de pulso a través del SCADA.

Tabla 3.1 Descripción de las revoluciones para cada prueba

Pruebas de operación	
Prueba 1: goteo	Prueba de estanqueidad o goteo, realizada por visión artificial
Prueba 2: velocidad variable	Duty cycle variable = 1.92 ms a 2.28 ms Velocidad variable = 1500 RPM a 4000 RPM
Prueba 3: velocidad baja	Duty cycle = 1.92 ms Velocidad = 1500 RPM
Prueba 4: velocidad media	Duty cycle = 2.05 ms Velocidad = 2500 RPM
Prueba 5: velocidad alta	Duty cycle = 2.28 ms Velocidad = 4000 RPM

Fuente: Tabla con la descripción de las revoluciones para cada prueba, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En los motores de combustión interna de 4 tiempos, por cada 2 vueltas o revoluciones que entrega el cigüeñal se produce un ciclo completo de cuatro tiempos (admisión, compresión, explosión y escape), y un ciclo completo de 4 tiempo es igual a un período de la señal PWM (Ruiz, 2018).

Se tomaron valores referenciales de 1500, 2500 y 4000 RPM con sus respectivos anchos de pulso de 1.92 ms, 2.05 ms y 2.28 ms para aplicarlas en las pruebas de operación (Jiménez Vásquez, 2016); en donde para determinar el período de pulso de inyección se usó el siguiente procedimiento:

Tomando en cuenta que: 2 rpm del cigüeñal = 1 ciclo completo de cuatro tiempos (admisión, compresión, explosión y escape) = 1 período de la señal PWM.

Ahora, se requiere determinar los períodos de la señal PWM y las frecuencias para velocidades de 1500 RPM, 2500 RPM y 4000 RPM, para ello se usó los siguientes cálculos.

3.2.1 Cálculo del período y frecuencia para 1500 rpm

Se tiene 1500 revoluciones cada 60 segundos, entonces para 2 revoluciones (que son iguales a un período PWM) se tiene el siguiente cálculo:

$$\text{Período PWM para 1500 RPM} = \frac{2 \text{ RPM} * 60 \text{ seg}}{1500} \quad \text{Ec (3.1)}$$

$$\text{Período PWM para 1500 RPM} = 0.08 \text{ seg}$$

$$F_1 = \frac{1}{\text{Período PWM para 1500 RPM}} \quad \text{Ec (3.2)}$$

$$F_1 = \frac{1}{0.08} = 12.5 \text{ Hz} \approx 13 \text{ Hz}$$

3.2.2 Cálculo del período y frecuencia para 2500 rpm

Se tiene 2500 revoluciones cada 60 segundos, entonces para 2 revoluciones (que son iguales a un período PWM) se tiene el siguiente cálculo:

$$\text{Período PWM para 2500 RPM} = \frac{2 \text{ RPM} * 60 \text{ seg}}{2500} \quad \text{Ec (3.3)}$$

$$\text{Período PWM para 2500 RPM} = 0.048 \text{ seg}$$

$$F_2 = \frac{1}{\text{Período PWM para 2500 RPM}} \quad \text{Ec (3.4)}$$

$$F_2 = \frac{1}{0.048} = 20.83 \text{ Hz} \approx 21 \text{ Hz}$$

3.2.3 Cálculo del período y frecuencia para 4000 rpm

Se tiene 4000 revoluciones cada 60 segundos, entonces para 2 revoluciones (que son iguales a un período PWM) se tiene el siguiente cálculo:

$$\text{Período PWM para 4000 RPM} = \frac{2 \text{ RPM} * 60 \text{ seg}}{4000} \quad \text{Ec (3.5)}$$

$$\text{Período PWM para 4000 RPM} = 0.03 \text{ seg}$$

$$F_3 = \frac{1}{\text{Período PWM para 4000 RPM}} \quad \text{Ec (3.6)}$$

$$F_3 = \frac{1}{0.03} = 33.33 \text{ Hz} \approx 33 \text{ Hz}$$

3.2.4 Cálculo del ciclo de trabajo para las tres velocidades

Para el cálculo del ciclo de trabajo o ciclo Duty se tomó los valores de 1.92 ms, 2.05 ms y 2.28 ms (Jiménez Vásquez, 2016) y los valores de período ya calculados 0.08 s, 0.048 s y 0.03 s respectivamente.

$$\% \text{ ciclo duty para 1500 RPM} = \frac{0.00192}{\text{Período PWM para 1500 RPM}} * 100 \quad \text{Ec (3.7)}$$

$$\% \text{ ciclo duty para 1500 RPM} = \frac{0.00192}{0.08} * 100$$

$$\% \text{ ciclo duty para 1500 RPM} = 2.4 \%$$

$$\% \text{ ciclo duty para 2500 RPM} = \frac{0.00205}{\text{Período PWM para 2500 RPM}} * 100 \quad \text{Ec (3.8)}$$

$$\% \text{ ciclo duty para 2500 RPM} = \frac{0.00205}{0.048} * 100$$

$$\% \text{ ciclo duty para 2500 RPM} = 4.27\%$$

$$\% \text{ ciclo duty para 4000 RPM} = \frac{0.00228}{\text{Período PWM para 4000 RPM}} * 100 \quad \text{Ec (3.9)}$$

$$\% \text{ ciclo duty para 4000 RPM} = \frac{0.00228}{0.03} * 100$$

$$\% \text{ ciclo duty para 4000 RPM} = 7.6\%$$

En la Tabla 3.2 se muestran los valores de rpm, frecuencia de trabajo, período y ciclo de trabajo que tendrán los inyectores en el banco de pruebas.

Tabla 3.2 Valores para los inyectores en el banco de pruebas

Velocidad (rpm)	Frecuencia de trabajo (Hz)	Período de pulso de inyección (ms)	Ciclo de trabajo (ms)	% Ciclo de Trabajo
1500	13	80	1.92	2.4
2500	21	48	2.05	4.27
4000	33	30	2.28	7.6

Fuente: Tabla con la descripción de los valores para los inyectores en el banco de pruebas, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

3.3 Programación de PWM, ciclo de trabajo y frecuencia en Python

Para la utilización de los pines de la Raspberry se tomó en cuenta que existen dos formas de numeración de los pines, llamadas BOARD y la BCM.

La numeración por BOARD se refiere a los números que están encerrados en círculos como se indica en la Figura 3.1, mientras que la numeración por BCM se indica en los rectángulos y tienen la palabra GPIO.

Tabla 3.3 Descripción de los comandos

Comandos	Descripción
<p>p2=GPIO.PWM(40,frec) p3=GPIO.PWM(37,frec) p4=GPIO.PWM(35,frec) p5=GPIO.PWM(32,frec)</p>	<p>Se crearon instancias de PWM para los cuatro inyectores p2, p3, p4, p5, el cual necesita dos parámetros de entrada. El primero es el pin que fue usado como salida y el segundo es el valor de la frecuencia. Se utilizaron los pines 32, 35, 37 y 40.</p>
<p>p2.start(valor) p3.start(valor) p4.start(valor) p5.start(valor)</p>	<p>Habiendo declarado las instancias, se utiliza el atributo “.start” para indicar el valor del ciclo de trabajo para cada PWM, el valor del ciclo de trabajo debe estar comprendido entre 0.0 y 100.0.</p>
<p>p5.ChangeFrequency(frec) p2.ChangeFrequency(frec) p3.ChangeFrequency(frec) p4.ChangeFrequency(frec)</p>	<p>Con el atributo “ChangeFrequency” se cambian los valores de frecuencia para cada prueba. Los valores de frecuencia ya calculados previamente son 12.5, 20.83 y 33.33.</p>
<p>p5.ChangeDutyCycle(duty) p2.ChangeDutyCycle(duty) p3.ChangeDutyCycle(duty) p4.ChangeDutyCycle(duty)</p>	<p>Con el atributo “ChangeDuty” se cambia el ciclo de trabajo, en la variable “duty” se introduce los valores que se calcularon previamente, que son de 2.4, 4.27 y 7.6; el operario puede modificar estos valores a través del SCADA.</p>

Fuente: Tabla con la descripción de los comandos usados para la programación de PWM, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

3.4 Desarrollo de la base de Datos

La base de datos que se empleó es MySQL; en esta se creó una tabla denominada “registros_de_clientes”. Esta tabla contiene 10 campos que se detallan en la Tabla 3.4, en los cuales se almacena varios datos que son importantes para el taller automotriz.

Tabla 3.4 Descripción de los campos de la tabla "registros_de_clientes"

Campo	Tipo	Descripción
Id	Int	Número que identifica a cada usuario cuando se registra en el sistema.
Nombre	Varchar	Campo en el que se almacena el nombre del cliente.
Vehículo-kilometraje	Varchar	Campo que almacena la marca del vehículo y el kilometraje.
Fecha	Date	Campo que almacena la fecha en la que se realiza el lavado de los inyectores.
Cédula	Varchar	Campo que almacena la cédula de identidad del propietario del vehículo.
Prueba1	Varchar	Campo que almacena los resultados de la prueba de estanqueidad.
Prueba2	Varchar	Campo que almacena los resultados de la prueba de velocidad variable.
Prueba3	Varchar	Campo que almacena los resultados de la prueba de velocidad baja.
Prueba4	Varchar	Campo que almacena los resultados de la prueba de velocidad media.
Prueba5	Varchar	Campo que almacena los resultados de la prueba de velocidad alta.

Fuente: Tabla con la descripción de los campos que tiene la tabla “registro_de_clientes”, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

En la base de datos se crea una “primary key” de cada tabla, esto permite identificar de manera única cada registro que se guarda. En la tabla “registro_de_clientes” la “primary key” es el “Id” el cual es un número que identifica a cada usuario y sus registros, mediante aquel identificador se puede modificar, actualizar y eliminar el registro del cliente de la base de datos.

3.5 Conexión MySQL-Python

La conexión entre MySQL y Python se lo realizó programando un script en el cual se enlaza la base de datos con este lenguaje. El script tiene una clase llamada “Conexion” que a su vez posee 2 funciones, la primera permite la conexión y la

segunda permite cerrar la conexión (ver Figura 3.2) y en la Tabla 3.5 se describen la estructura del código de conexión entre Python y MySQL.

Figura 3.2 Script “conexión”

```
import mysql.connector
from mysql.connector import errorcode

class Conexion:
    def conectar(self):
        1
        try:
            conexion = mysql.connector.connect(user='root', password='david',
                                                host='127.0.0.1',
                                                database='mysql')

            print("Conectado correctamente")
            return conexion
        except mysql.connector.Error as err:
            if err.errno == errorcode.ER_ACCESS_DENIED_ERROR:
                print(" error revise su usuario o contraseña")

            elif err.errno == errorcode.ER_BAD_DB_ERROR:
                print("Base de datos no existe")

            else:
                print(err)
            return None

    def cerrar(self, conexion):
        2
        print("Cerrando conexion.....")
        conexion.close()
        print("Conexion cerrada")
```

Fuente: Imagen de los comandos usados para la conexión de la base de datos, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

Tabla 3.5 Descripción de las partes del código para realizar la conexión

Número	Función	Descripción
1	Conectar	Para establecer la conexión entre MySQL y Python se necesita introducir 4 parámetros que son: usuario, password, host y database. El usuario y contraseña son las mismas que se introduce al momento de instalar MySQL, el host es la dirección Ip en donde se instaló la base de datos, en este caso, la base de datos fue instalada en la misma Raspberry por lo que la dirección Ip es la de localhost (127.0.0.1). En el campo de database se ingresa el nombre de la base de datos que se creó, en este caso el nombre de la base de datos es “mysql”.
2	Cerrar	En esta parte se realiza el cierre de la conexión con la base de datos usando el comando conexión.close(), con esto se evita dejar abierta la conexión a la base de datos, esto se lo hace por cuestiones de seguridad.

Fuente: Tabla con la descripción de las partes del código para establecer la conexión de la base de datos, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

Creado el script “conexión”, se crea un nuevo script denominado “contacto” (ver Figuras 3.3 y 3.4) en el cual se crea una clase que contiene 5 funciones que son: insertar(), cargar(), modificar(), eliminar() y consultar().

Para hacer uso de la base de datos se llama al script “conexión” y se importa la clase “Conexión”, con esto se evita programar de nuevo todo el código para enlazar la base de datos. Para ello se utilizó el comando “ from conexión import * ” y en la clase “Contacto” se hereda la función de “conectar” y “cerrar” que proviene del script “conexión”.

Figura 3.3 Script “contacto” parte 1

```
from conexion import *

class Contacto(Conexion):

    def insertar(self,n,k,f,c,p1,p2,p3,p4,p5):
        1 cnx = self.conectar()
        cursor = cnx.cursor()
        cursor.execute("INSERT INTO registros_clientes VALUES
                        (null, '"+n+"', '"+k+"', '"+f+"', '"+c+"', '"+p1+"', '"+p2+"', '"+p3+"', '"+p4+"', '"+p5+"')")
        cnx.commit()
        self.cerrar(cnx)

    def cargar (self,id):
        2 cnx= self.conectar()
        cursor = cnx.cursor()
        cursor.execute("SELECT * FROM registros_clientes WHERE id='"+str(id)")
        arreglo=[]
        for (registros_clientes) in cursor:
            arreglo.append(registros_clientes)
        self.cerrar(cnx)
        return arreglo

    def modificar(self,n,k,f,c,p1,p2,p3,p4,p5,id):
        3 cnx= self.conectar()
        cursor = cnx.cursor()
        cursor.execute("UPDATE registros_clientes SET nombre='"+n+"', kilometraje='"+k+"', fecha='"+f+"',
                        cedula='"+c+"', prueba1='"+p1+"', prueba2='"+p2+"', prueba3='"+p3+"', prueba4='"+p4+"',
                        prueba5='"+p5+" WHERE id='"+str(id)+"'")
        cnx.commit()
        self.cerrar(cnx)
```

Fuente: Imagen del código del script “contacto” parte 1, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Figura 3.4 Script “contacto” parte 2

```
def eliminar(self,id):
    4 cnx= self.conectar()
    cursor = cnx.cursor()
    cursor.execute("DELETE FROM registros_clientes WHERE id= '"+str(id)")
    print(str(id))
    cnx.commit()
    self.cerrar(cnx)

def consultar(self):
    5 cnx= self.conectar()
    cursor= cnx.cursor()
    cursor.execute("SELECT * FROM registros_clientes")
    arreglo=[]
    for (registros_clientes) in cursor:
        arreglo.append(registros_clientes)
    self.cerrar(cnx)
    return arreglo
```

Fuente: Imagen del código del script “contacto” parte 2, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Tabla 3.6 se describen las funciones de la clase “Contacto” que se utilizan para insertar, modificar, eliminar, consultar y cargar los datos que se almacenan en la base de datos.

Tabla 3.6 Descripción de las funciones del script “contacto”

Número	Función	Acción
1	insertar()	La función recibe los campos de la base de datos que son: nombre, fecha, vehículo-kilometraje, número de cédula, prueba1, prueba2, prueba3, prueba4, prueba5. Usando la línea de programación <code>cursor.execute("INSERT INTO registros_clientes VALUES(null,'" + n + "','" + k + "','" + f + "','" + p1 + "','" + p2 + "','" + p3 + "','" + p4 + "','" + p5 + "')")</code> , se guarda los datos en los campos de la tabla “registros_clientes”.
2	cargar()	Esta función permite el buscar a un usuario específico para luego modificar los parámetros. La función cargar recibe el parámetro “Id” y usando la línea de programación <code>cursor.execute("SELECT * FROM registros_clientes WHERE id="+str(id))</code> busca el “Id” asociado con un determinado cliente y guarda los datos en un arreglo para su posterior utilización.
3	modificar()	La función modificar recibe nueve parámetros los cuales son nombre, fecha, vehículo-kilometraje, número de cédula, prueba1, prueba2, prueba3, prueba4, prueba5. Y usando la línea de programación <code>cursor.execute("UPDATE registros_clientes SET nombre='"+n+"',kilometraje='"+k+"',fecha='"+f+"',prueba1='"+p1+"',prueba2='"+p2+"',prueba3='"+p3+"',prueba4='"+p4+"',prueba5='"+p5+"' WHERE id='"+str(id)+"'")</code> actualiza los datos que el usuario crea conveniente.
4	eliminar()	El método eliminar recibe el parámetro “Id” único de cada registro y mediante el comando <code>cursor.execute("DELETE FROM registros_clientes WHERE id= "+str(id))</code> se encuentra el registro del cliente por el id y se elimina todo el registro de la base de datos.
5	consultar()	La función no recibe parámetros; usando la línea de programación <code>cursor.execute("SELECT * FROM registros_clientes")</code> permite consultar todos los campos que tiene la tabla “registros_clientes”.

Fuente: Tabla con la descripción de las funciones del script “contacto”, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

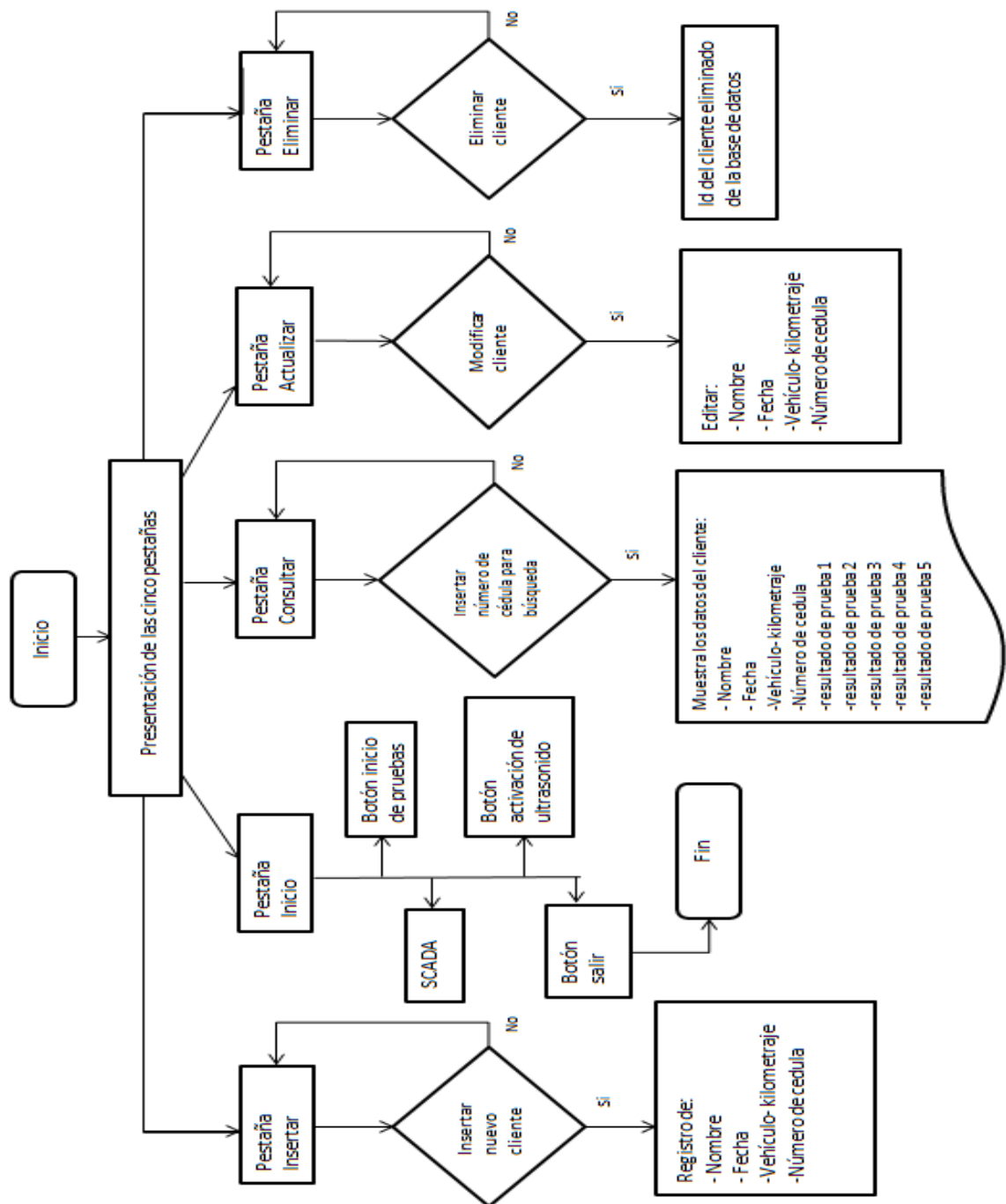
3.6 Programación de las pruebas de operación

Las pruebas de operación se las realizó usando modulación de ancho de pulso o PWM, los valores de frecuencia y ancho de pulso que se usaron para simular las pruebas de operación se encuentran descritos en la tabla 3.2, antes de describir las pruebas de operación se debe mencionar la estructura y componentes del programa mediante un diagrama de flujo general del sistema.

3.6.1 Diagrama de Flujo General

En la Figura 3.5 se ilustra el diagrama de flujo general donde muestra las cinco pestañas del programa, su respectivo contenido y acciones; cada pestaña cumple una acción en específico como: eliminar, modificar o insertar; la pestaña de inicio es la que contiene el sistema SCADA, ahí se detallarán los diagramas de flujo de las pruebas de goteo, velocidad variable, velocidad baja, velocidad media y velocidad alta.

Figura 3.5 Diagrama de flujo general



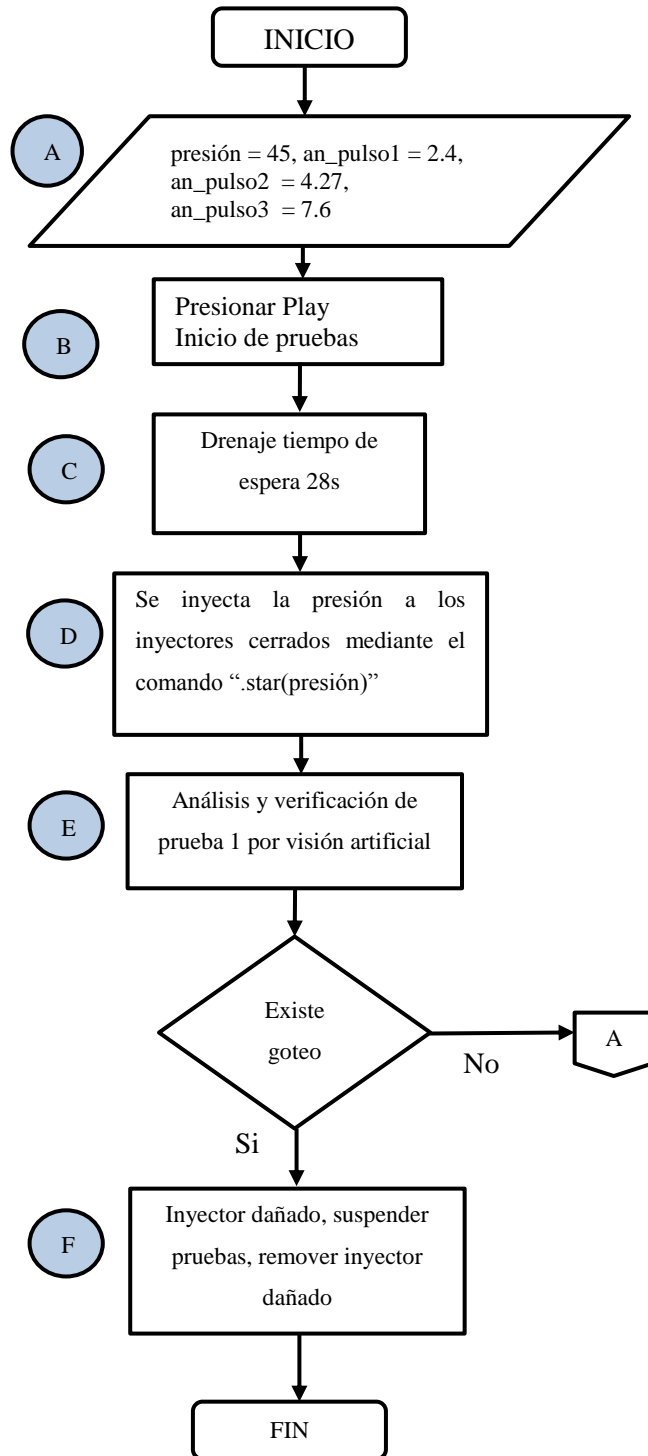
Fuente: Diagrama de flujo general del proyecto, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

3.6.2 Diagrama de flujo prueba de estanqueidad

En la Figura 3.6 se indica el diagrama de flujo para la prueba de estanqueidad, la cual consiste en enviar presión a los inyectores cerrados y verificar si existe goteo durante un minuto, si existe goteo la máquina se detiene y el inyector debe ser removido, se selecciona la presión de la bomba y anchos de pulsos, dichos valores ya están

preestablecidos con los valores de la tabla 3.2 y si el operario lo requiere pueden ser modificados.

Figura 3.6 Diagrama de flujo de la prueba 1



Fuente: Diagrama de flujo de la primera prueba, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Tabla 3.7 se describe a detalle el diagrama de flujo de la Figura 3.6:

Tabla 3.7 Descripción del diagrama de flujo de la prueba 1

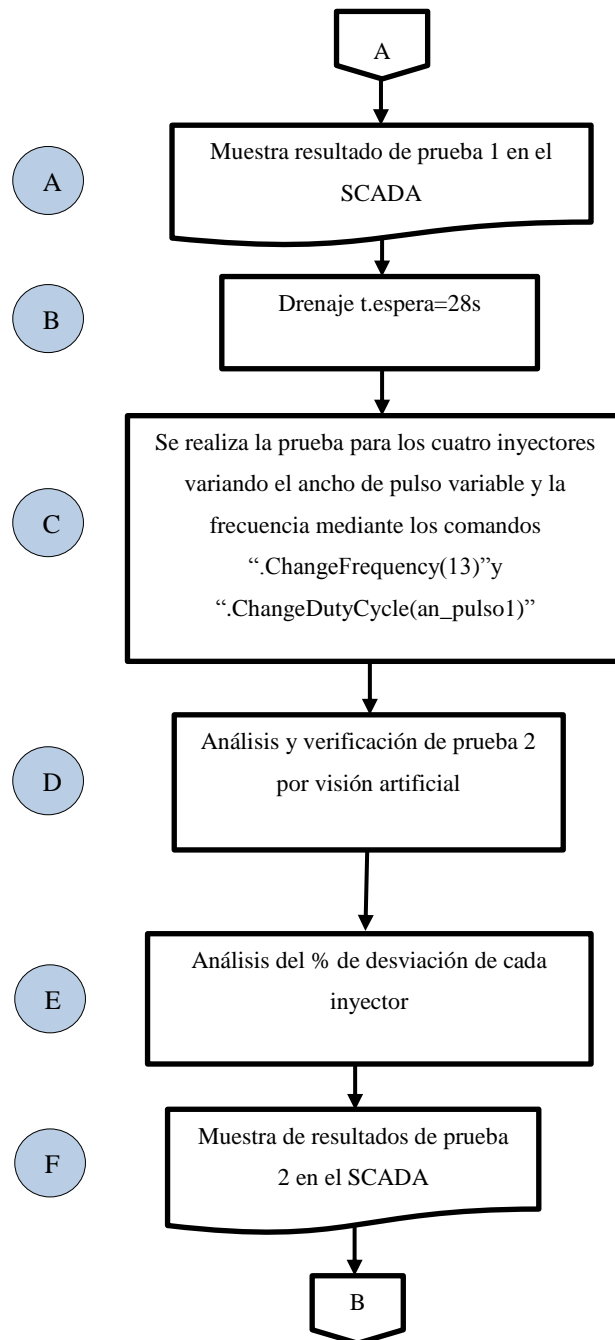
Letra	Descripción
A	Se selecciona la presión con que trabajan los inyectores, que va en el rango de 0 a 88 psi; por lo general los autos tienen la presión alrededor de 45 psi (Olvera, 2011), además se selecciona los tres valores de ancho de pulso para velocidad baja, media y alta, estos valores corresponden a las variables: “an_pulso1”, “an_pulso2”, “an_pulso3”, los cuales se encuentran establecidos en la tabla 3.2 y pueden ser modificados según lo requiera el operario.
B	Se presiona el botón inicio de pruebas para dar comienzo a las cinco pruebas establecidas que la máquina realiza a los inyectores.
C	El drenaje se lo realiza de forma automática antes de dar comienzo a las cinco pruebas tiene un tiempo de drenado de 28 segundos.
D	El operario debe digitar la presión de la bomba según los datos técnicos del vehículo, el valor de 45 psi ya se encuentra preestablecido, al igual que los anchos de pulso el valor de la presión se la puede modificar de 0 a 88 psi, el goteo del inyector debe ser menos de 1 gota por minuto o acorde a las especificaciones del fabricante (LAUNCH, 2017).
E	El análisis se lo realiza por visión artificial en el cual se verifica la probeta que contenga el mayor volumen de líquido, después se realiza una comparación del mayor con las 3 probetas restantes para verificar el porcentaje de desviación. Con la visión artificial se verifica la presencia de goteo durante un minuto.
F	Si en el inyector existe presencia de goteo la máquina se detiene y se informa en pantalla el inyector averiado.

Fuente: Tabla con la descripción del diagrama de flujo de la primera prueba, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

3.6.3 Diagrama de flujo prueba velocidad variable

En la Figura 3.7 se indica el diagrama de flujo para la prueba de velocidad variable; esta segunda prueba consiste en someter a los inyectores a una simulación de velocidad variable de 1500 a 4000 RPM, el período está programado para ir de 0.08 ms a 0.03 ms con un ciclo de trabajo variable de 2.4 % ($an_pulso1 = 2.4$) a 7.6% ($an_pulso3 = 7.6$).

Figura 3.7 Diagrama de flujo de la prueba 2



Fuente: Diagrama de flujo de la segunda prueba, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Tabla 3.8 se describe a detalle el diagrama de flujo de la Figura 3.7:

Tabla 3.8 Descripción del diagrama de flujo de la prueba 2

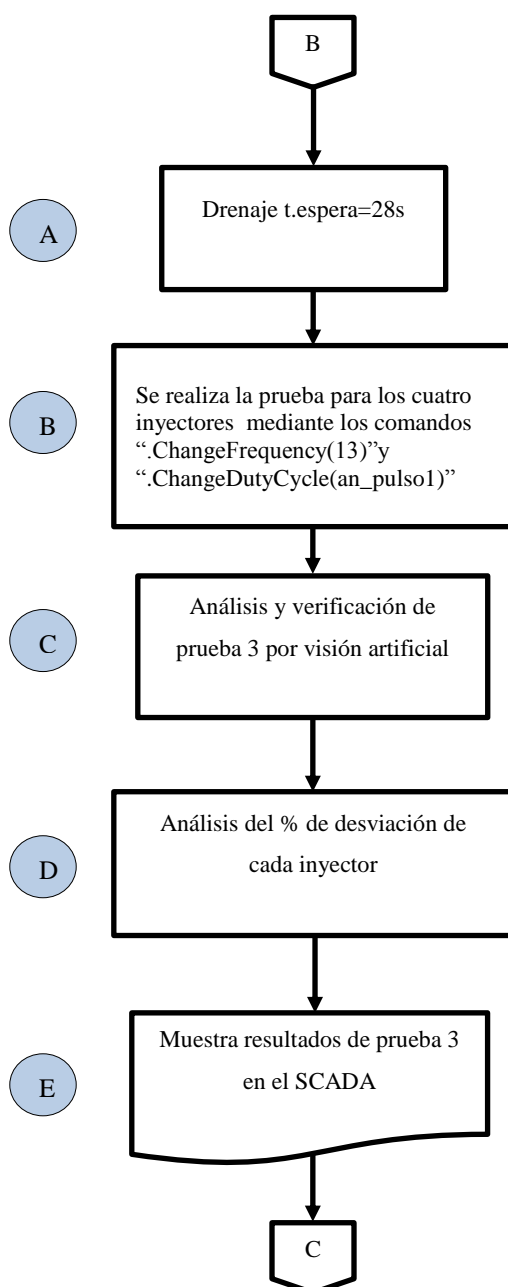
Letra	Descripción
A	Al finalizar la prueba 1, los resultados son indicados en un cuadro de texto en la pantalla.
B	Antes de iniciar la segunda prueba, el programa inicia el drenaje del líquido para dar comienzo a la siguiente prueba, el tiempo de drenado es de 28 segundos.
C	La prueba 2 de velocidad variable toma el valor de la variable “an_pulso1” que es igual a 2.4, y el valor de la frecuencia que es igual a 13Hz; dicha prueba aumenta cada segundo 0.33 al valor de “an_pulso1” y aumenta 1.0 al valor de frecuencia hasta llegar a sus valores máximos de “an_pulso3” y 33 Hz respectivamente luego se resetea en los valores iniciales, la prueba tiene una duración de 90 segundos.
D	El análisis se lo realiza por visión artificial en el cual se captura los niveles de las cuatro probetas.
E	Se realiza una comparación del mayor volumen de líquido con los de las 3 probetas restantes para verificar el porcentaje de desviación en cada probeta.
F	Al finalizar la prueba 2, los resultados son indicados en un cuadro de texto en la pantalla.

Fuente: Tabla con la descripción del diagrama de flujo de la segunda prueba, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

3.6.4 Diagrama de flujo prueba velocidad baja

En la Figura 3.8 se indica el diagrama de flujo para la prueba de velocidad baja; esta tercer prueba consiste en someter a los inyectores a una simulación de velocidad baja de 1500 RPM, período de 0.08 y de ciclo de trabajo de 2.4% ($an_pulso1 = 2.4$).

Figura 3.8 Diagrama de flujo de la prueba 3



Fuente: Diagrama de flujo de la tercera prueba, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Tabla 3.9 se describe a detalle el diagrama de flujo de la Figura 3.8:

Tabla 3.9 Descripción del diagrama de flujo de la prueba 3

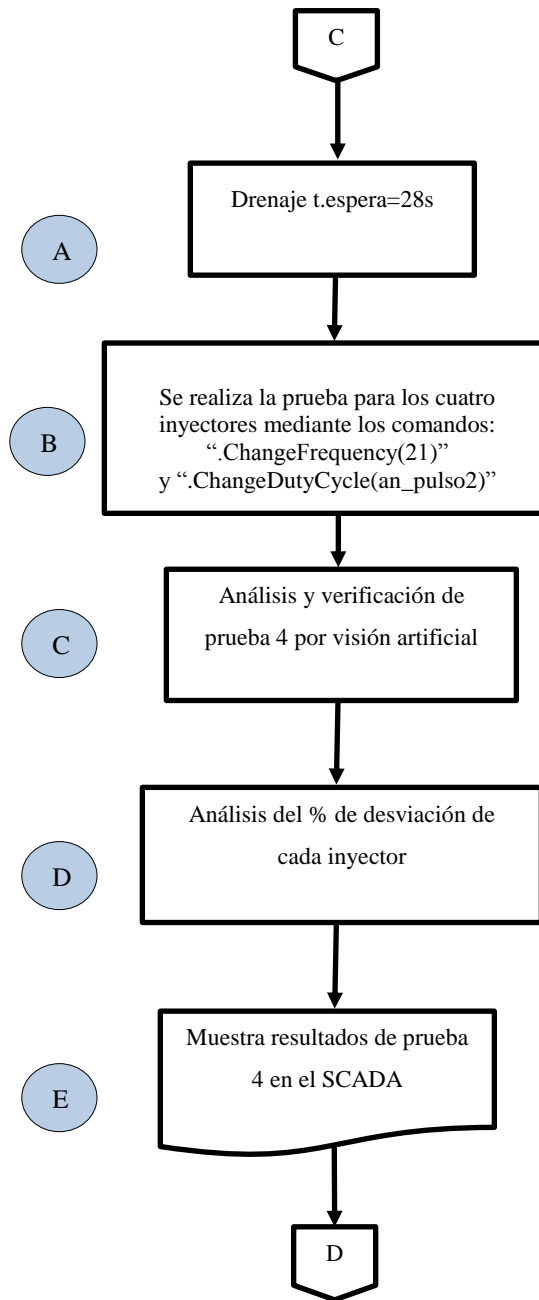
Letra	Descripción
A	Antes de iniciar la tercera prueba, el programa inicia el drenaje del líquido para dar comienzo a la siguiente prueba, el tiempo de drenado es de 28 segundos.
B	La prueba 3 de velocidad baja modifica la frecuencia y ancho de pulso con los valores de “an_pulso1” y 13Hz respectivamente, esta simula cómo los inyectores trabajan a velocidad baja de 1500 rpm.
C	El análisis se lo realiza por visión artificial en el cual se captura los niveles de las cuatro probetas.
D	Se realiza una comparación del mayor volumen de líquido con los de las 3 probetas restantes para verificar el porcentaje de desviación en cada probeta.
E	Al finalizar la prueba 3, los resultados son indicados en un cuadro de texto en la pantalla.

Fuente: Tabla con la descripción del diagrama de flujo de la tercera prueba, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

3.6.5 Diagrama de flujo prueba velocidad media

En la Figura 3.9 se indica el diagrama de flujo para la prueba de media; esta cuarta prueba consiste en someter a los inyectores a una simulación de velocidad media de 2500 RPM, período de pulso de 0.048 y ciclo de trabajo de 4.27 % (an_pulso2 = 4.27).

Figura 3.9 Diagrama de flujo de la prueba 4



Fuente: Diagrama de flujo de la cuarta prueba, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Tabla 3.10 se describe a detalle el diagrama de flujo de la Figura 3.9:

Tabla 3.10 Descripción del diagrama de flujo de la prueba 4

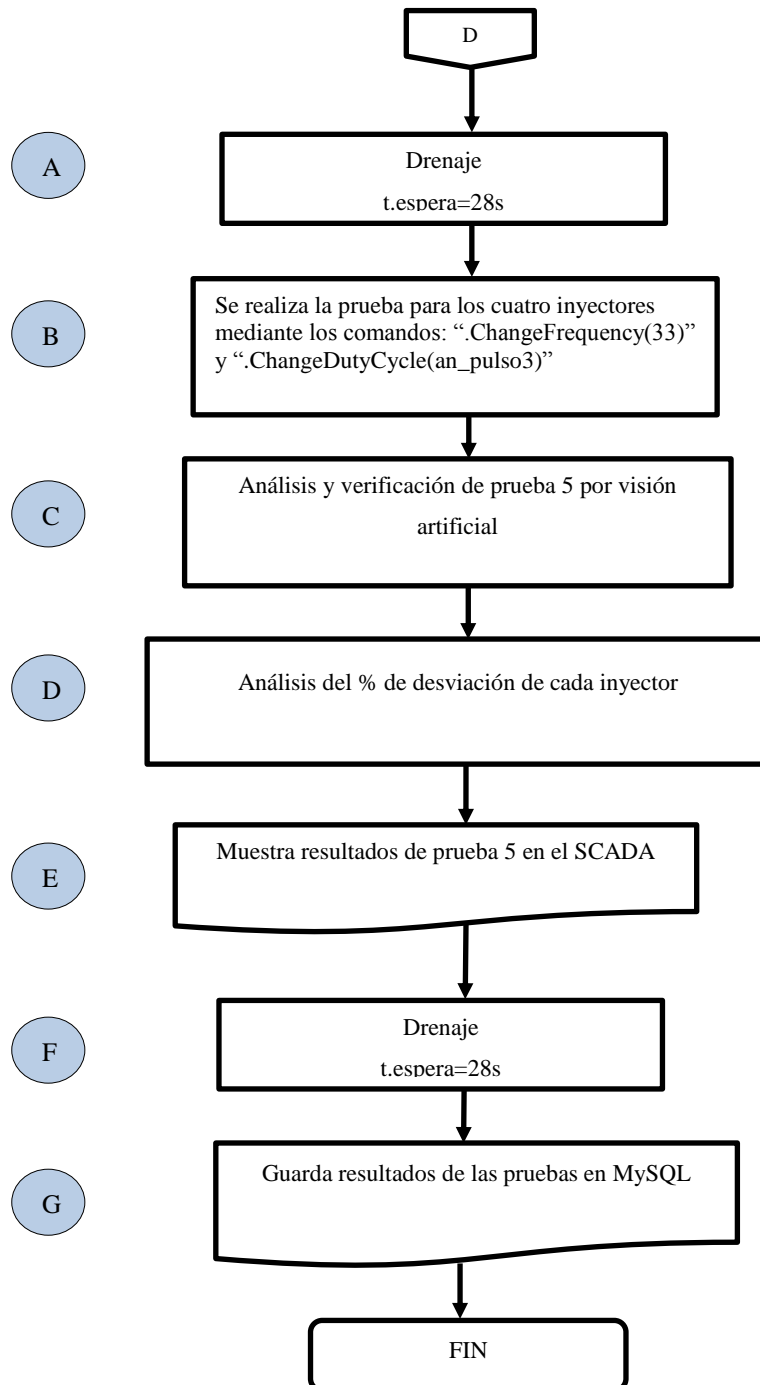
Letra	Descripción
A	Antes de iniciar la cuarta prueba, el programa inicia el drenaje del líquido para dar comienzo a la siguiente prueba, el tiempo de drenado es de 28 segundos.
B	La prueba 4 de velocidad media modifica la frecuencia y ancho de pulso con los valores de “an_pulso2” y 21 Hz respectivamente, esta simula cómo los inyectores trabajan a velocidad media de 2500 rpm.
C	El análisis se lo realiza por visión artificial en el cual se captura los niveles de las cuatro probetas.
D	Se realiza una comparación del mayor volumen de líquido con los de las 3 probetas restantes para verificar el porcentaje de desviación en cada probeta.
E	Al finalizar la prueba 4, los resultados son indicados en un cuadro de texto en la pantalla.

Fuente: Tabla con la descripción del diagrama de flujo de la cuarta prueba, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

3.6.6 Diagrama de flujo prueba velocidad alta

En la Figura 3.10 se indica el diagrama de flujo para la prueba de alta; esta quinta prueba consiste en someter a los inyectores a una simulación de velocidad alta de 4000 RPM, período de pulso de 0.03 y ciclo de trabajo de 7.6% (an_pulso3 = 7.6).

Figura 3.10 Diagrama de flujo de la prueba 5



Fuente: Diagrama de flujo de la quinta prueba, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

En la Tabla 3.11 se describe a detalle el diagrama de flujo de la Figura 3.10

Tabla 3.11 Descripción del diagrama de flujo de la prueba 5

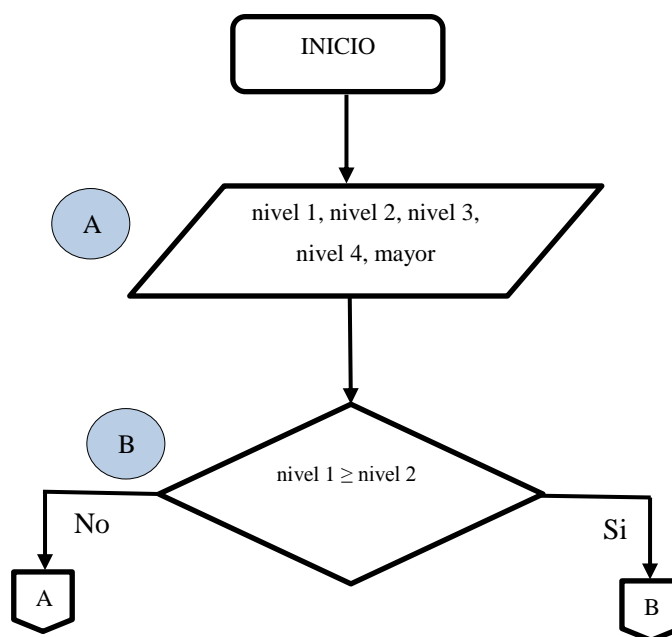
Letra	Descripción
A	Antes de iniciar la quinta prueba, el programa inicia el drenaje del líquido para dar comienzo a la siguiente prueba, el tiempo de drenado es de 28 segundos.
B	La prueba 5 de velocidad alta modifica la frecuencia y ancho de pulso con los valores de “an_pulso3” y 33 Hz respectivamente, esta simula cómo los inyectores trabajan a velocidad alta de 4000 rpm.
C	El análisis se lo realiza por visión artificial en el cual se captura los niveles de las cuatro probetas.
D	Se realiza una comparación del mayor volumen de líquido con los de las 3 probetas restantes para verificar el porcentaje de desviación en cada probeta.
E	Al finalizar la prueba 5, los resultados son indicados en un cuadro de texto en la pantalla.
F	Se realiza el drenaje del líquido de las probetas, se hace esto para que el sistema esté listo para empezar otra prueba si el usuario así lo desee; el tiempo de drenado es de 28 segundos.
G	Finalizadas las cinco pruebas, los resultados son almacenados en la base de datos, se guarda junto al nombre del propietario del vehículo para llevar un registro.

Fuente: Tabla con la descripción del diagrama de flujo de la quinta prueba, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

3.6.7 Diagrama de flujo para determinar el mayor nivel

En las Figuras 3.11, 3.12, y 3.13 se muestran el diagrama de flujo de la visión artificial en la que captura los niveles de cada probeta y determina cuál o cuáles probetas contienen el mayor nivel para que en base a la probeta con mayor líquido se realice un cálculo de desviación.

Figura 3.11 Diagrama de flujo para determinar el mayor



Fuente: Diagrama de flujo para determinar el mayor nivel de las cuatro probetas, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

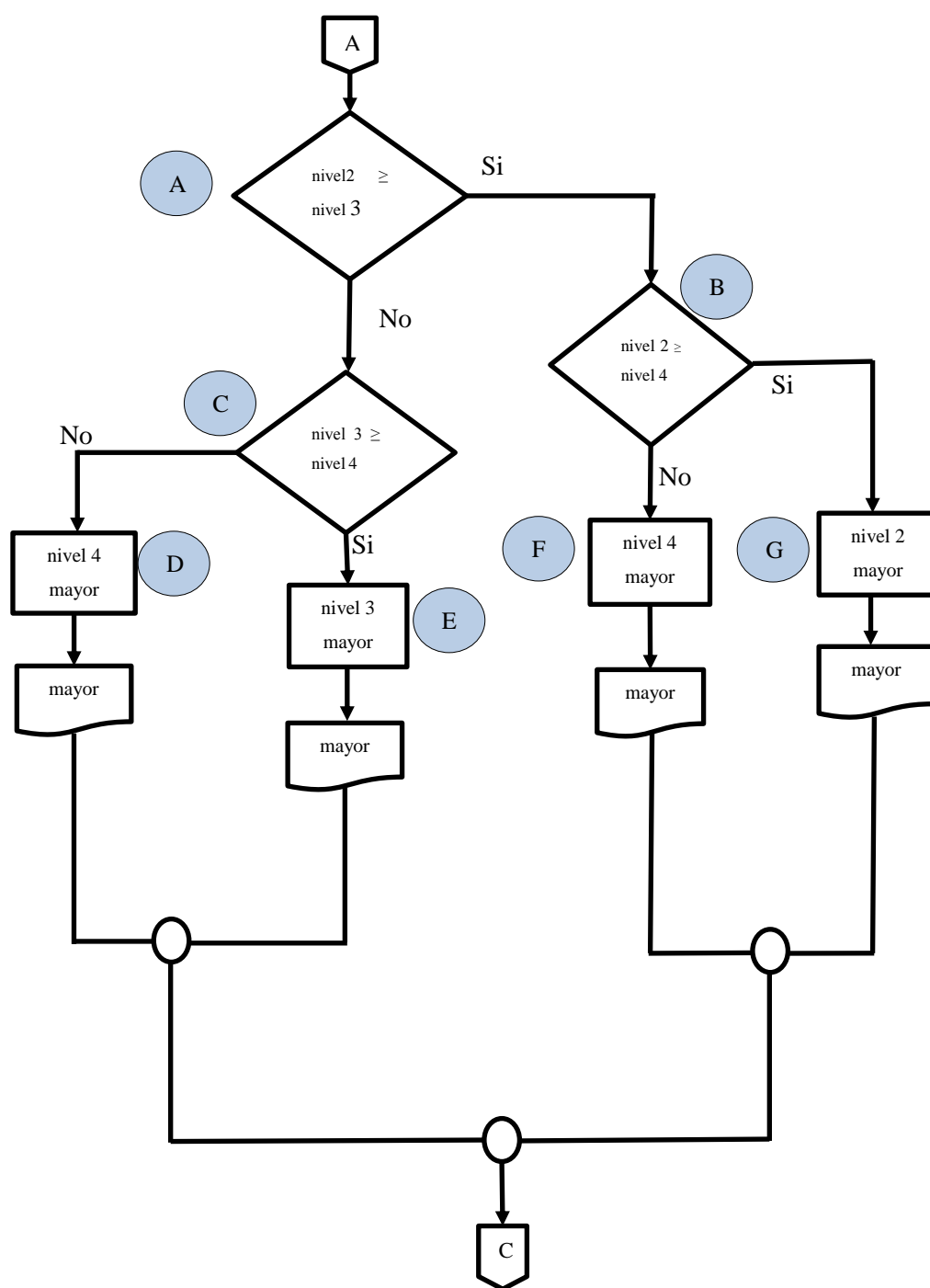
En la Tabla 3.12 se describe a detalle el diagrama de flujo de la Figura 3.11.

Tabla 3.12 Descripción del diagrama de flujo para determinar el mayor nivel

Letra	Descripción
A	Con la visión artificial se determina los niveles de cada probeta en cada prueba. Se almacenan esos datos para determinar el mayor nivel durante cada prueba.
B	Se realiza la comparación ente el nivel 1 que corresponde la probeta 1 y el nivel 2 que corresponde a la probeta 2. Si el nivel 1 es mayor sigue con la parte B del algoritmo, caso contrario continua por la parte A

Fuente: Tabla de la descripción del diagrama de flujo para determinar el mayor nivel de las cuatro probetas, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Figura 3.12 Diagrama de flujo para determinar el mayor nivel parte A



Fuente: Diagrama de flujo para para determinar el mayor nivel parte A, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

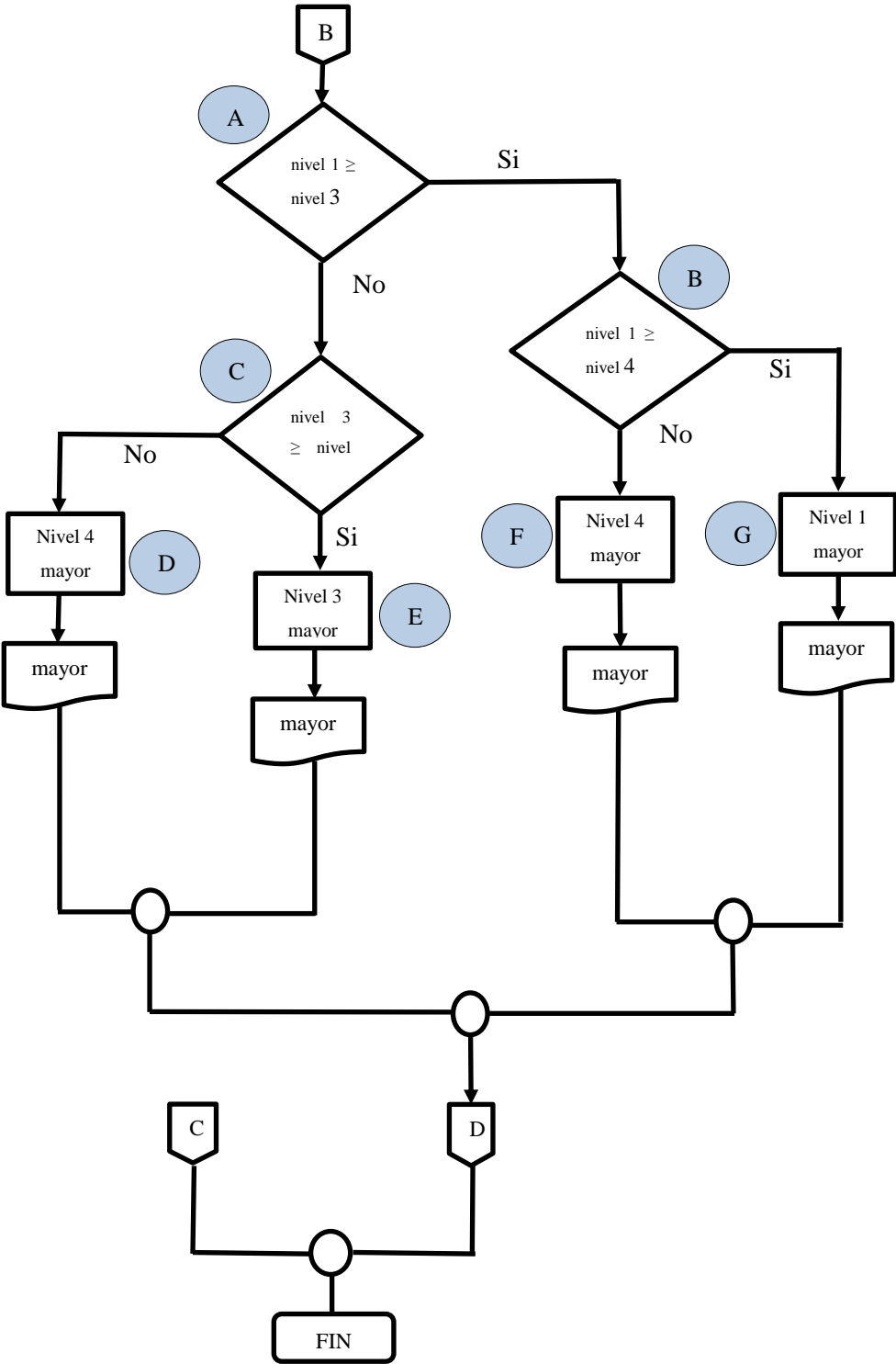
En la Tabla 3.13 se describe a detalle el diagrama de flujo de la Figura 3.12.

Tabla 3.13 Descripción del diagrama de flujo para determinar el mayor nivel en cada prueba parte A

Letra	Descripción
A	Se compara el valor del nivel 2 con el valor del nivel 3.
B	Al ser el valor del nivel 2 mayor que el nivel 3, se compara con el valor del nivel 4
C	Al ser el valor del nivel 2 menor que el nivel 3, se compara con el valor del nivel 3 con el valor del nivel 4
D	El valor del nivel 4 (nivel de líquido en la probeta 4) es el que tiene más líquido comparado con el valor del nivel 3 y por lo tanto éste es el mayor nivel.
E	El valor del nivel 3 (nivel de líquido en la probeta 3) es el que tiene más líquido comparado con el valor del nivel 4 y por lo tanto éste es el mayor nivel.
F	El valor del nivel 4 (nivel de líquido en la probeta 4) es el que tiene más líquido comparado con el valor del nivel 2 y por lo tanto éste es el mayor nivel.
G	El valor del nivel 2 (nivel de líquido en la probeta 2) es el que tiene más líquido comparado con el valor del nivel 4 y por lo tanto éste es el mayor nivel.

Fuente: Tabla de la descripción del diagrama de flujo para determinar el mayor nivel parte A,
(Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Figura 3.13 Diagrama de flujo para determinar el mayor nivel parte B



Fuente: Diagrama de flujo para determinar el mayor nivel parte B, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Tabla 3.14 se describe a detalle el diagrama de flujo de la Figura 3.13.

Tabla 3.14 Descripción del diagrama de flujo para determinar el mayor nivel en cada prueba parte B

Letra	Descripción
A	Se compara el valor del nivel 1 con el valor del nivel 3.
B	Al ser el valor del nivel 1 mayor que el nivel 3, se compara con el valor del nivel 4
C	Al ser el valor del nivel 1 menor que el nivel 3, se compara con el valor del nivel 3 con el valor del nivel 4.
D	El valor del nivel 4 (nivel de líquido en la probeta 4) es el que tiene más líquido comparado con el valor del nivel 3 y por lo tanto éste es el mayor nivel.
E	El valor del nivel 3 (nivel de líquido en la probeta 3) es el que tiene más líquido comparado con el valor del nivel 4 y por lo tanto éste es el mayor nivel.
F	El valor del nivel 4 (nivel de líquido en la probeta 4) es el que tiene más líquido comparado con el valor del nivel 1 y por lo tanto éste es el mayor nivel.
G	El valor del nivel 1 (nivel de líquido en la probeta 1) es el que tiene más líquido comparado con el valor del nivel 4 y por lo tanto éste es el mayor nivel.

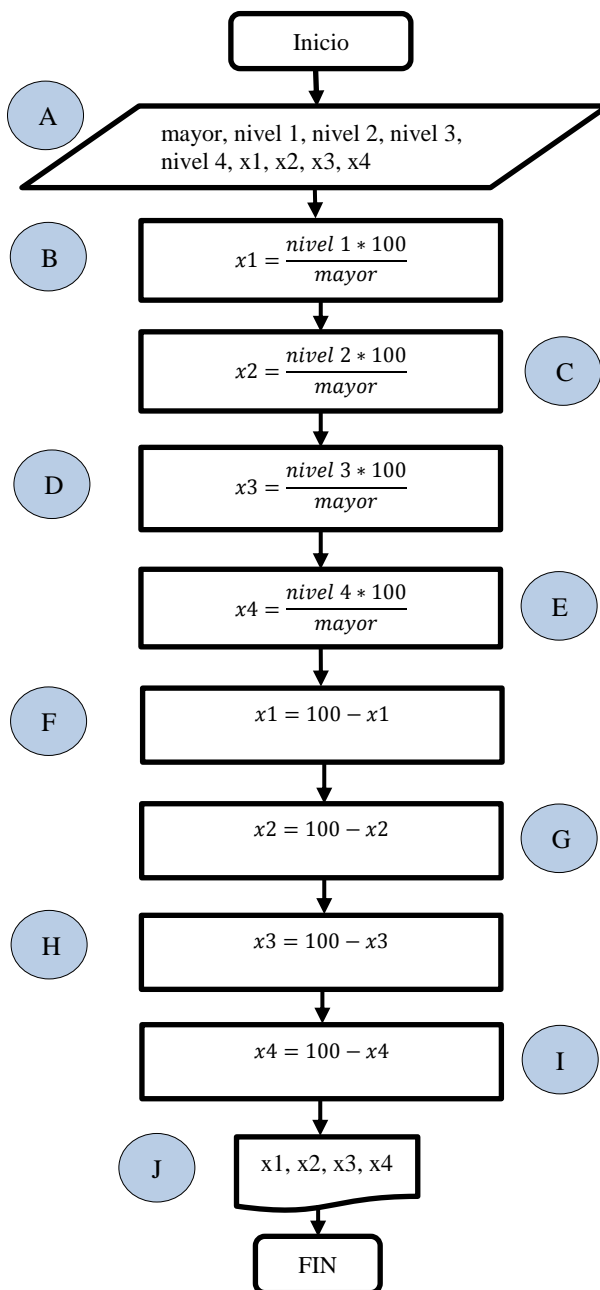
Fuente: Tabla de la descripción del diagrama de flujo para determinar el mayor nivel parte B, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

3.6.8 Diagrama del porcentaje de desviación

Una vez determinado la o las probetas con mayor líquido, se realiza una comparación del mayor nivel con los niveles restantes, con esto se determina el porcentaje de desviación que tienen las probetas restantes con la probeta del mayor nivel, dicho valor de porcentaje no debe sobrepasar el 10% (LAUNCH, 2017).

En la Figura 3.14 se muestra el diagrama de flujo para determinar el porcentaje de desviación del nivel de cada probeta.

Figura 3.14 Diagrama de flujo para el porcentaje de desviación



Fuente: Diagrama de flujo para el porcentaje de desviación, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Tabla 3.15 se describe a detalle el diagrama de flujo de la figura 3.14 para determinar el porcentaje de desviación de nivel de las probetas.

Tabla 3.15 Descripción del diagrama de flujo para calcular del porcentaje de desviación del nivel en cada probeta

Letra	Descripción
A	Se obtienen los datos del mayor, nivel 1, nivel 2, nivel 3, nivel 4, y se crean variables x1, x2, x3 y x4 en los que se almacenaran nuevos valores para realizar el cálculo del porcentaje de desviación.
B	Se multiplica el valor del nivel 1 por 100 y se divide para el valor del mayor y se obtiene un valor que se almacena en la variable x1.
C	Se multiplica el valor del nivel 2 por 100 y se divide para el valor del mayor y se obtiene un valor que se almacena en la variable x2
D	Se multiplica el valor del nivel 3 por 100 y se divide para el valor del mayor y se obtiene un valor que se almacena en la variable x3.
E	Se multiplica el valor del nivel 4 por 100 y se divide para el valor del mayor y se obtiene un valor que se almacena en la variable x4.
F	Porcentaje de desviación del inyector 1.
G	Porcentaje de desviación del inyector 2.
H	Porcentaje de desviación del inyector 3.
I	Porcentaje de desviación del inyector 4.
J	Presentación en pantalla de los porcentajes de desviación de los 4 inyectores.

Fuente: Tabla de la descripción del diagrama de flujo para el cálculo del porcentaje de desviación, (Sañacela & Quinsasamin, 2019)

3.7 Desarrollo de interfaces en Python con Tkinter

Para la creación de la interfaz en Python se utilizó la librería Tkinter. La interfaz tiene 5 pestañas para presentar la información de forma organizada y que al usuario le resulte fácil su utilización. Estas pestañas son: “INICIO”, “Consultar”, “Actualizar”, “Insertar” y “Eliminar”; en cada pestaña se utilizan métodos que ejecutan una tarea específica a excepción de la pestaña “INICIO”. La realización de esta interfaz fue creada en un nuevo script llamado “ventana”; a este script se importa el script “conexión” para enlazar con la base de datos y también se importa el script “contacto” para heredar las funciones que se indican en la Tabla 3.6; las funciones que se utilizan en este script se describen en la Tabla 3.16:

Tabla 3.16 Descripción de los métodos utilizados en las pestañas

Método	Trabajo que realiza
Actualizar()	Realiza una búsqueda en la base de datos de MySQL mediante el “Id” que identifica a cada cliente, el Id es único para cada cliente. El operario actualiza o modifica la información del cliente mediante el comando <code>.get()</code> .
Consultar()	Se crea una caja de texto en donde se guardan temporalmente los datos de las pruebas, cuando las pruebas han finalizado esa información se actualiza en la base de datos mediante el comando <code>.insert()</code> . El operario puede ver el nombre del cliente, vehículo-kilometraje, fecha y los resultados de las distintas pruebas realizadas.
Toma de datos()	Los valores obtenidos mediante la visión artificial los muestra en el SCADA mediante el comando <code>.set()</code> .
Eliminar()	Utilizando el “Id” se realiza una búsqueda del cliente en MySQL, usando el comando <code>DELETE FROM registros_clientes WHERE id= "+str(id)</code> se elimina todo el registro del cliente.
Animación()	Para la interfaz se usó la librería CANVAS que permite dibujar líneas y figuras para representar los botones, las líneas de pulverización y la animación del líquido en las probetas.
Insertar()	Al finalizar todas las pruebas se utiliza el comando <code>.get()</code> para que los datos de los clientes se inserten en la base de datos; se crea un arreglo en donde se guarda su nombre, fecha, vehículo-kilometraje y pruebas de operación de los inyectores.
Contacto()	Del script “contacto” se importa la clase “Contacto” porque ahí están programadas las funciones para consultar, modificar, eliminar, insertar y eliminar.
contacto.consultar()	Permite acceder a la función “consultar” que está programada en el script “contacto”, esta función devuelve los valores almacenados en la base de datos, para ello se le debe indicar el valor “Id” del cliente que se quiere consultar.
contacto.modificar()	Permite acceder a la función “modificar” que está programada en el script “contacto”, esta función devuelve los valores almacenados en la base de datos; para ello se le debe indicar el valor “Id” del cliente que se quiere modificar.

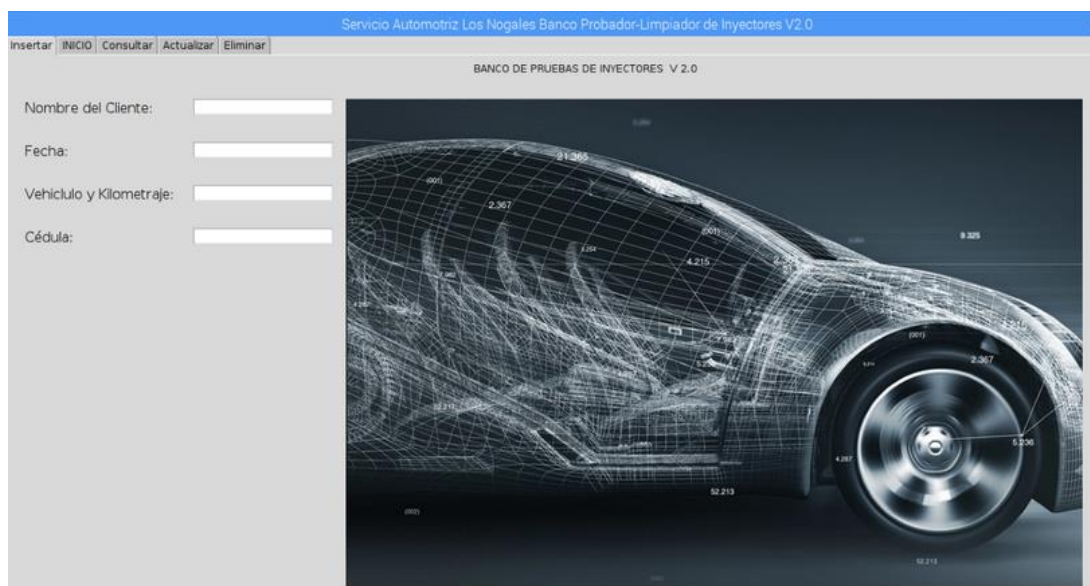
Continuación de la Tabla 3.16

contacto.insertar()	Permite acceder a la función “insertar” que está programada en el script “contacto”, esta función permite insertar un nuevo cliente con los datos (Nombre del cliente, vehículo-kilometraje, fecha de la revisión, cédula de identidad)
contacto.eliminar (arregloId[combo.current 0])	En la pestaña “eliminar” se despliega la lista de los nombres de los usuarios registrados, este comando permite eliminar al usuario comparando la posición en la que se encuentra en la lista y el valor Id del usuario.
contacto.cargar (arregloIdM[comboM.cu rrent()])	Al igual que en la línea de código anterior, la lista de contactos se despliega en un combo box del cual se obtiene la posición del elemento que se seleccionó, dicho valor es conocido como identificador “Id”, mediante este identificador se tiene acceso a los registro del cliente como nombre, kilometraje, fecha, etc.

Fuente: Descripción de los métodos para la creación del sistema SCADA, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 3.15 se visualiza la pestaña “Insertar”, en la cual se introduce el nombre y cédula del cliente, la fecha, la marca del vehículo y el kilometraje para almacenar la información en la base de datos.

Figura 3.15 Pestaña “Insertar”



Fuente: Imagen de la pestaña “Insertar”, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 3.16 se visualiza la pestaña “Consultar”, la cual permite visualizar la información de los clientes que han sido atendidos anteriormente. Entre los datos están la fecha, nombre del cliente y los resultados de las pruebas realizadas a los inyectores.

Figura 3.16 Pestaña “Consultar”

Cédula	NOMBRE	Fecha	Vehículo-Kilometraje	Prueba1(Iny1, Iny2, Iny3, Iny4)	Prueba2(Iny1, Iny2, Iny3, Iny4)	Prueba3(Iny1, Iny2, Iny3, Iny4)
0604886648	jorge	1298	17/11/2018	22	121	121
1721263556	jcarlos	11/12/2018	1200	ok , ok , ok , ok	103,101,106,92	103,101,105,92
0604886648	sañicela	11/12/2018	pch-1234	ok,ok,ok,ok	0,98,71,0	0,96,71,0
0604886648	perez	11/12/2018	1200	ok,ok,ok,ok	0,96,0,0	0,96,0,0
1425637414	boy	11/12/2018	1230	ok,ok,ok,ok	0,56,0,0	0,56,0,0
0604886648	Carlos Pillajo	12/01/2018	120000	ok,ok,ok,ok	20,28,28,23	23,31,32,25

Fuente: Imagen de la pestaña “Consultar”, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 3.17 se visualiza la pestaña “Actualizar”, la cual permite seleccionar a un cliente para actualizar los parámetros como su cédula, nombre, la fecha y el kilometraje del vehículo.

Figura 3.17 Pestaña “Actualizar”

Insertar INICIO Consultar Actualizar Eliminar

Seleccionar :

CARGAR

CEDULA:

Nombre:

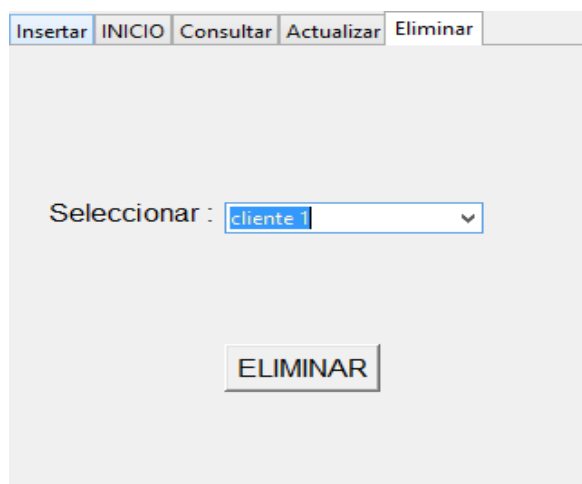
Fecha:

Kilometraje:

Fuente: Imagen de la pestaña “Actualizar”, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 3.18 se visualiza la pestaña “Eliminar”, que mediante un combo box permite seleccionar al cliente y si el operario lo requiere proceder a eliminarlo de su registro.

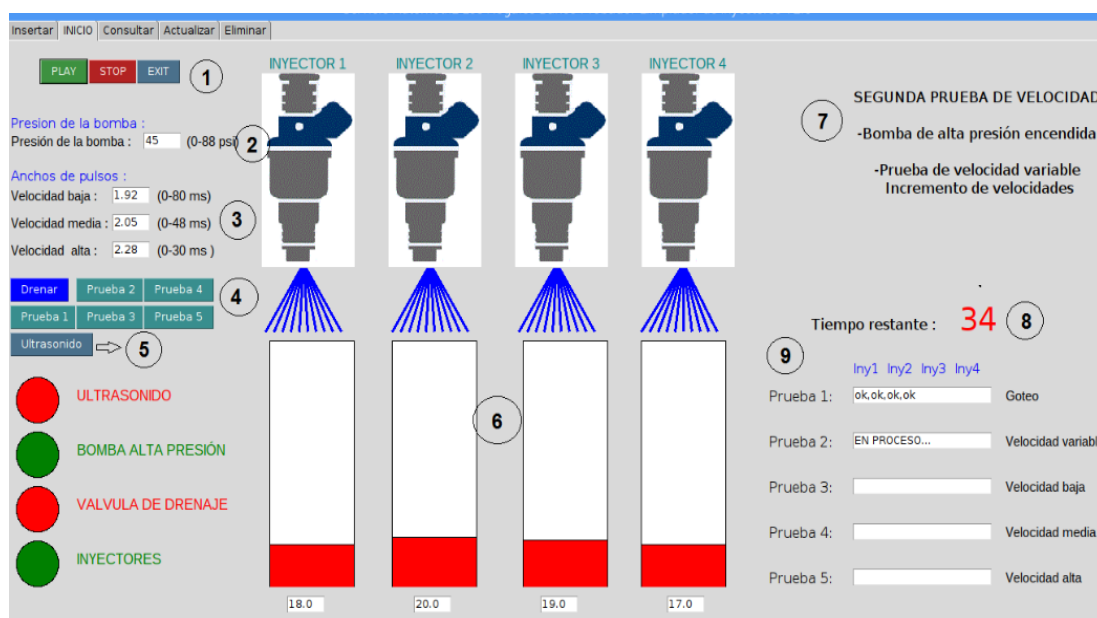
Figura 3.18 Pestaña “Eliminar”



Fuente: Imagen de la pestaña “Eliminar”, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 3.19 se ilustra la pestaña “INICIO”, la cual contiene la parte de control, monitoreo y adquisición de datos.

Figura 3.19 Pestaña “INICIO”



Fuente: Imagen de la pestaña “INICIO”, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Las funciones de los diferentes botones e indicadores de la pestaña “INICIO” se detallan en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17 Descripción de las funciones de la pestaña “Inicio”

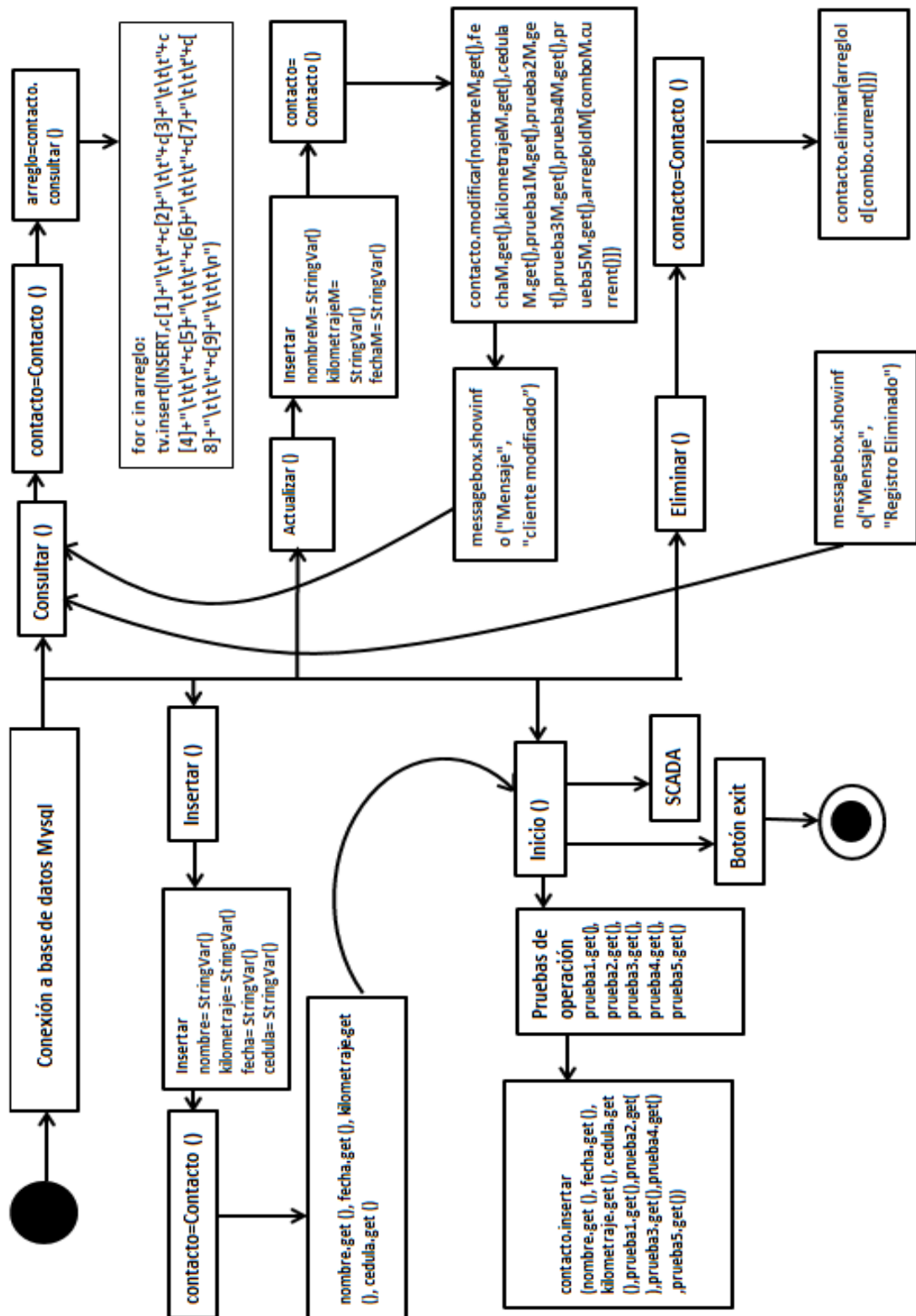
Número	Descripción
1	Se tiene los botones PLAY, STOP, y EXIT que permiten iniciar las pruebas, detener la realización de las pruebas y salir del programa.
2	Selección de la presión de la bomba 0 -88 psi, el valor de 45 psi esta preestablecido y el operario puede modificar dicho valor de acuerdo a la presión de trabajo del vehículo.
3	Selección de los anchos de pulsos, los valores de 1,92, 2,05 y 2,28 están preestablecidos, el usuario puede modificar dichos valores si lo desea.
4	Los botones de “Prueba 1”, “Prueba 2”, “Prueba 3”, “Prueba 4”, “Prueba 5” y “Drenar” permiten ejecutar cada una de las pruebas de forma individual y para drenar el líquido después de cada prueba.
5	Permite la activación del ultrasonido para la realización del lavado de los inyectores.
6	Permite visualizar el nivel de líquido que existe en cada probeta.
7	Indica la información de la prueba que se está ejecutando en ese momento, además de indicaciones y recomendaciones.
8	Indica el tiempo restante para que se inicie las pruebas.
9	Muestra la información sobre el estado de las pruebas y los resultados obtenidos

Fuente: Tabla con la descripción de las funciones de la pestaña “Inicio”, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

3.7.1 Diagrama de estados de la programación para la interfaz

La programación de la interfaz se la realizó en el software Python; se diseñó cinco pestañas las cuales cumplen una función específica, en la siguiente Figura 3.20 se puede apreciar la programación que se realizó para cada pestaña, sus variables, sus comandos, sus funciones y cómo estas se relacionan entre sí.

Figura 3.20 Diagrama de estado de la programación

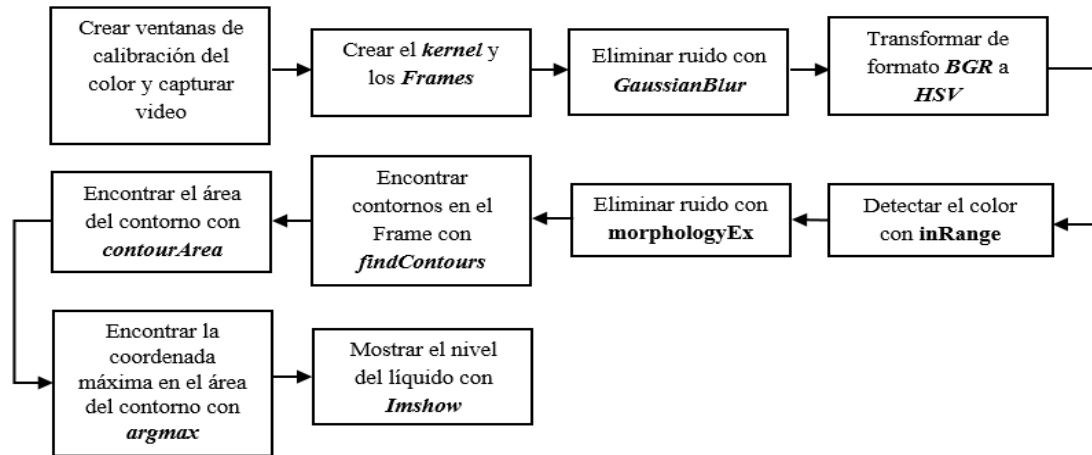


Fuente: Diagrama de estados de la programación de las pestañas de la máquina, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

3.8 Desarrollo de la visión artificial

La adquisición de imágenes se realizó usando una cámara web conectada a la Raspberry Pi 3; para el procesamiento de las imágenes se utilizó las bibliotecas de OpenCV y Numpy. Para presentar los niveles del líquido de las probetas mediante visión artificial se siguió el diagrama de bloques como indica la Figura 3.21.

Figura 3.21 Diagrama de bloques de la visión artificial



Fuente: Diagrama de bloques para desarrollar la visión artificial, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

Para explicar el diagrama de bloques hay algunos conceptos que deben estar claros:

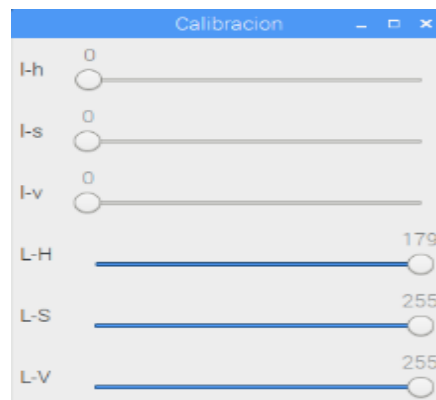
- **FRAME:** Los dispositivos de video capturan imágenes o frames que al ser presentados en secuencia generan el efecto de movimiento. Por ello se habla de que una cámara captura 30 fps (frames por segundo), es decir captura 30 frames en un segundo. Existen cámaras que capturan más frames en un segundo, algunos 240 y otros hasta 1000 frames. A todas los frames se les puede extraer información si se realiza el procesamiento adecuado.
- **BGR:** Es un modelo de color que utiliza los colores primarios (azul, verde y rojo) para representar los demás colores, con la combinación de estos y con diferentes intensidades se consigue crear los diferentes colores que se representa en un frame.

- **HSV:** Es otro modelo de color, pero al contrario del RGB utiliza los parámetros de: matiz, saturación y el brillo para formar otros colores.
- **TUPLA:** Es un conjunto de elementos del mismo o diferente tipo y en Python se representa por medio de paréntesis y separados por comas.
- **DIFUMINAR:** En Python significa suavizar o atenuar una imagen accediendo a sus propiedades.
- **KERNEL:** Matriz de convolución necesaria para realizar transformaciones morfológicas.
- **CONTORNO:** Es una curva dada por todos los puntos continuos que poseen el mismo color en una imagen binaria.

En la etapa inicial se necesita crear un objeto VideoCapture para determinar el nivel del líquido de pruebas de cada probeta; en su argumento se coloca el índice del dispositivo que en este caso es el número 0 debido a que solo se utiliza una sola cámara.

Se incluye también la creación de la ventana de calibración (ver Figura 3.22), en la que consta de seis barras de seguimiento para determinar el color del líquido del banco de pruebas.

Figura 3.22 Ventana de calibración



Fuente: Imagen de la ventana de calibración del color del líquido del banco de pruebas, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Para el procesamiento de las imágenes es necesario la creación de una matriz de convolución o también llamado kernel que se usa para el tratamiento de imágenes. Se crean cuatro frames para capturar los niveles de cada una de las probetas. En la figura 3.23 se indica unos de los frames creados que corresponde a una de las probetas.

Figura 3.23 Frame para una de las probetas



Fuente: Imagen del frame, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

A cada uno de los frames se aplica el filtro GaussianBlur que permite difuminar o suavizar la imagen. En la figura 3.24 se visualiza la aplicación de este filtro a uno de los frames.

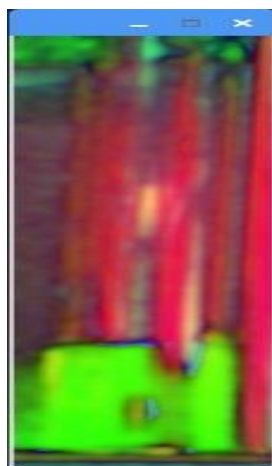
Figura 3.24 Aplicación GaussianBlur al frame



Fuente: Imagen del frame suavizado, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Una vez suavizada la imagen se cambia el espacio de color del frame usando la función `cv.cvtColor(frame, indicador)`, donde el indicador determina el tipo de conversión que en este caso se utiliza `cv.COLOR_BGR2HSV` para transformar de formato BGR a HSV tal como se muestra en la Figura 3.25.

Figura 3.25 Conversión del frame de BGR a HSV



Fuente: Imagen de conversión de formato BGR a HSV, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

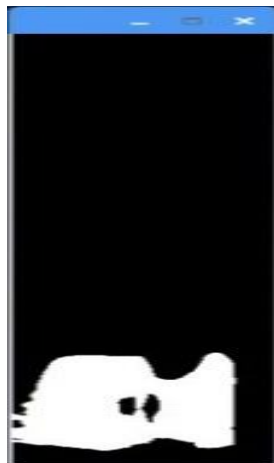
Se define una lista de límites en formato HSV para el color naranja (color del líquido de pruebas) mediante dos matrices. OpenCV puede representar imágenes como matrices Numpy [H, S, V] donde cada entrada en la lista es una tupla con dos valores en las que constan: una lista de límites inferiores y una lista de límites superiores. Por ejemplo, de la tupla siguiente: `([0,150, 0], [20, 255, 255])` se dice que: todos los

pixeles de una imagen que están dentro de $0 \leq H \leq 20$, $150 \leq S \leq 255$ y $0 \leq V \leq 255$ se consideran pixeles de color naranja.

Después, para detectar el color real del líquido de pruebas se usa la función `inRange(frame,lower,upper)`. Este método espera tres argumentos que son: el frame suavizado, el límite inferior del color a detectar y el último corresponde al límite superior del color a detectar; para los límites previamente se selecciona mediante la “ventana de calibración”.

Una vez llamada a esta función devuelve una máscara binaria que determina qué pixeles caen dentro del límite superior e inferior como se muestra en la Figura 3.26.

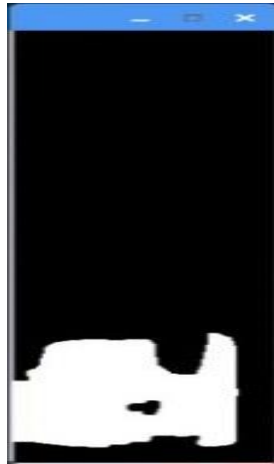
Figura 3.26 Máscara del frame



Fuente: Imagen del frame con máscara binaria, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

La siguiente etapa corresponde a aplicar una transformación morfológica en la máscara anterior. Con la función `morphologyEx` se elimina un ruido específico, si el argumento de esta función es `MORPH_CLOSE` entonces limpia el ruido negro en las áreas blancas como se muestra en la Figura 3.27.

Figura 3.27 Frame con transformación morfológica



Fuente: Imagen del frame con transformación morfológica, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

A continuación, se busca en el frame los contornos con la función `findContours`. La finalidad de encontrar los contornos es para detectar el volumen del líquido ya sea que aumente o disminuya durante cada prueba y se procede a dibujarlos en el frame correspondiente de color verde tal como muestra la Figura 3.28.

Figura 3.28 Frame con contornos



Fuente: Imagen del frame dibujado los contornos, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Para encontrar el área de un contorno se hace uso de la función `contourArea` y sirve para determinar la cantidad de pixeles de color naranja que se encuentran en el frame.

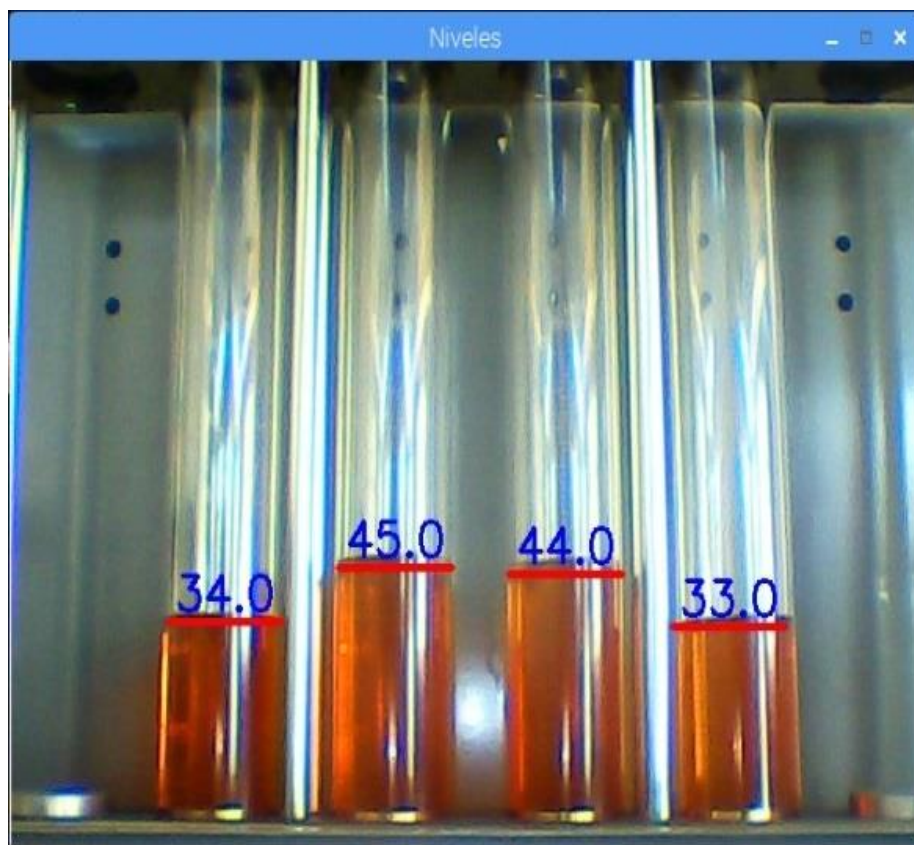
Una vez encontrada el área del contorno en el frame se compara con un valor previamente definido como “r” (representa el ruido en pixeles que no corresponde al

color naranja). Si el área del contorno es mayor a “r” entonces se extrae la coordenada máxima del contorno con la función `argmax`; dicha coordenada se interpreta como el nivel del líquido en la probeta.

Para mostrar los niveles de líquido (ver Figura 3.29) de cada probeta en una ventana se emplea la función `imshow(nombre, objeto)`; donde sus argumentos son: el primer es el nombre de la ventana que en este caso se llama “Niveles” y el segundo elemento es el frame.

Para que se visualice el texto de los niveles de las probetas se usa el comando `putText` y para mostrar las líneas de color rojo que sigue el nivel del líquido se emplea el comando `line`.

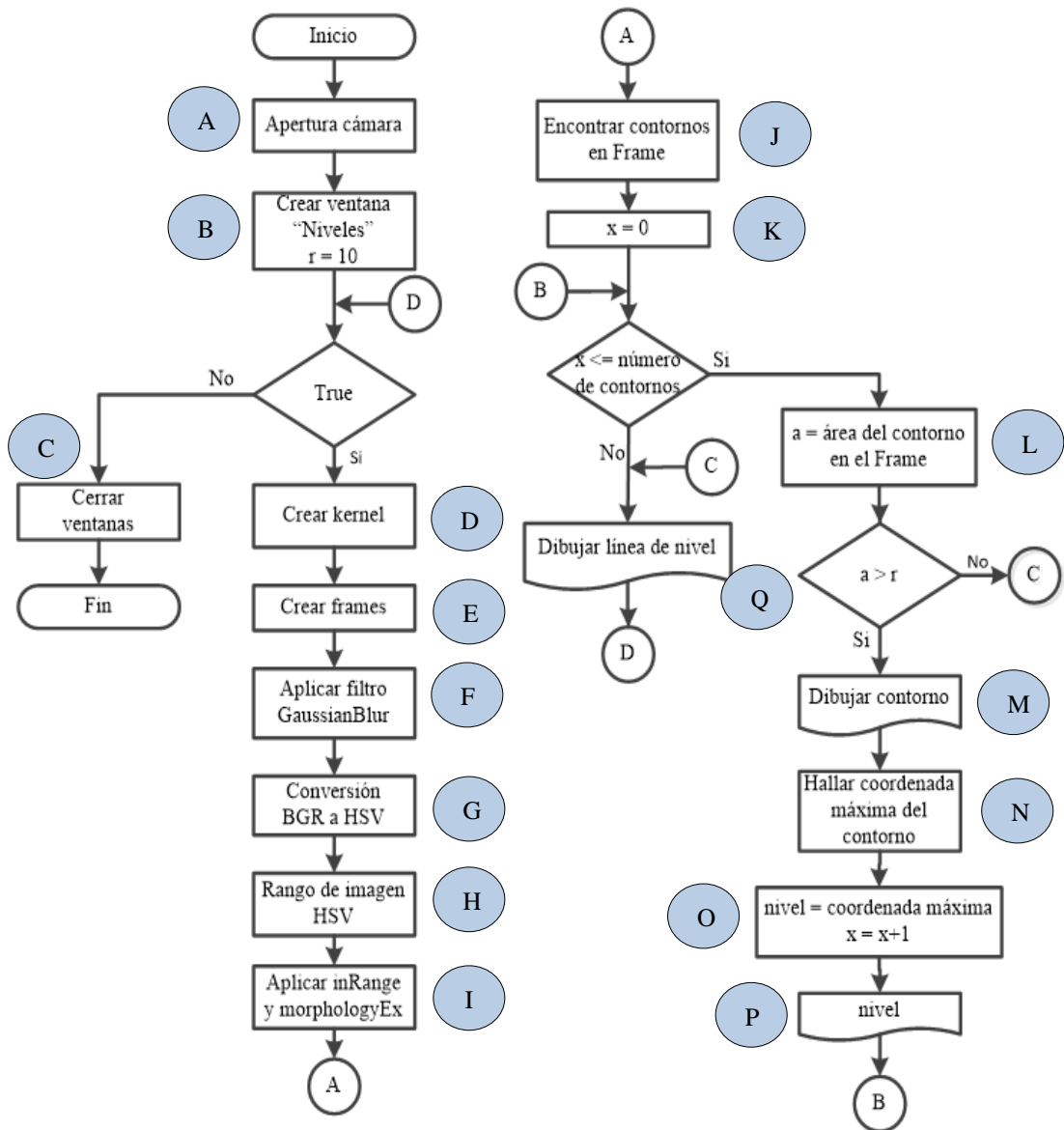
Figura 3.29 Ventana “Niveles”



Fuente: Imagen del frame con los niveles de cada probeta, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

3.8.1 Diagrama de flujo para de la visión artificial

Figura 3.30 Diagrama de flujo de la visión artificial



Fuente: Diagrama de bloques para desarrollar la visión artificial, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 3.30 indica el proceso realizado para determinación de los niveles en cada una de las probetas. Mientras que en la Tabla 3.18 se muestra la descripción de este diagrama de flujo.

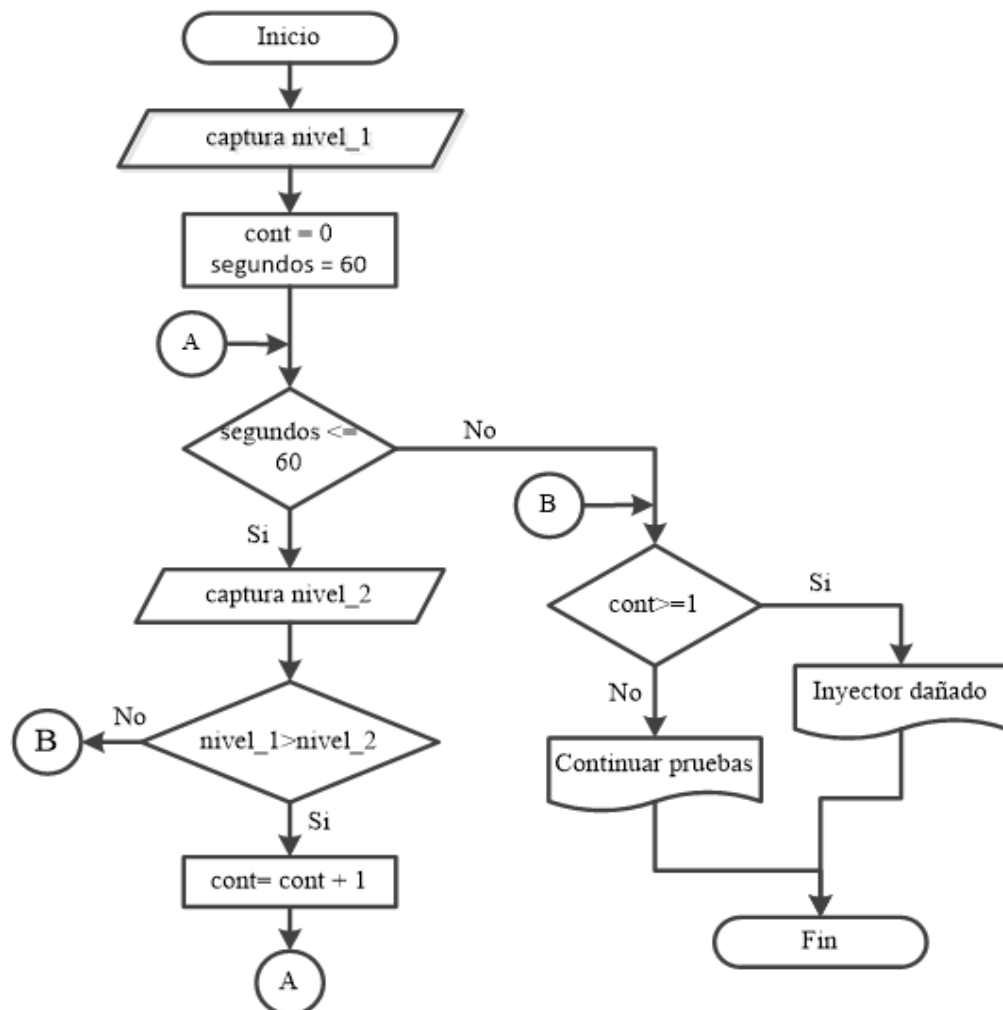
Tabla 3.18 Descripción del diagrama de flujo de la visión artificial

Letra	Descripción
A	Se inicia la comunicación entre la cámara y la Raspberry Pi 3 para recibir el video.
B	Se crea la ventana llamada “niveles” la cual permite medir los niveles de líquido de un color específico. Se declara la variable r con un valor de 10 que sirve para comparar con el valor del área del contorno de la imagen.
C	Si se interrumpe el ciclo infinito, la venta “Niveles” se cierra.
D	Si crear el kernel o matriz de convolución.
E	Se crea los frames que serán procesados para obtener el nivel de líquido.
F	A los frames se les aplica el filtro “GaussianBlur”.
G	Después de aplicar le filtro, el frame es transformado de BGR a HSV para el reconocimiento del nivel de líquido.
H	Se define el umbral o rango de la imagen en HSV del color del líquido para que detecte solo ese color.
I	Se obtiene una máscara binaria con la función inRange y se elimina ruido con morphologyEx.
J	Se encuentra contornos en el frame filtrado.
K	Se recorre el número de contornos hallados inicializando la variable “x”.
L	Se encuentra el área del contorno y se iguala a la variable “a”
M	Si el “a” es mayor que “r” (representa área del ruido que no corresponde al color naranja), entonces se dibuja el contorno en el frame ver Figura 3.28.
N	Se halla la coordenada máxima del contorno dibujado.
O	Se crea la variable nivel y se iguala al valor de la coordenada máxima del contorno.
P	Se muestra el nivel de cada probeta y muestra en la ventana “Niveles”
Q	Si “x” supera al número de contornos entonces se dibuja la línea del nivel en la ventana “Niveles”.

Fuente: Tabla con la descripción del diagrama de flujo de la visión artificial, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

3.8.2 Diagrama de flujo para determinar el goteo

Figura 3.31 Diagrama de flujo para el goteo



Fuente: Diagrama de flujo para prueba de estanqueidad, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 3.31 se muestra el diagrama de flujo que representa el proceso para determinar si un inyector presenta goteo o no, en el que se realiza la captura de un “nivel 1” y se inicializa un contador. Durante esta prueba se da un tiempo de 60 segundos para que se logre la captura de un “nivel 2” diferente al inicial, si durante el transcurso de este tiempo definido, el “nivel 2” es mayor al “nivel 1” entonces aumenta el contador en 1. Una vez finalizado el tiempo de esta prueba, se verifica si el contador supera el valor de 1 (indica la cantidad de gotas dados por el manual) entonces significa que el inyector se encuentra averiado y debe ser reemplazado; por lo contrario, si no supera este valor se procede a las distintas pruebas siguientes.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

La máquina realiza una comparación entre el volumen de líquido de las cuatro probetas, determina la probeta que contiene mayor volumen y procede a realizar un cálculo de desviación del volumen de las probetas restantes con relación a la probeta que contiene mayor volumen, dicha desviación no debe sobrepasar el 10% (LAUNCH, 2017).

Para corroborar la funcionalidad de la máquina se realizó pruebas a varios inyectores de distintos vehículos, de los cuales se tiene dos claros ejemplos de la importancia de una limpieza de inyectores: vehículo Aveo Family 2014 y vehículo Corsa Evolution 2006.

4.1 Pruebas y resultados en el vehículo Aveo Family

El vehículo Aveo Family es un claro ejemplo de limpieza y mantenimiento correctivo de inyectores, este vehículo presentaba pérdidas frecuentes de potencia en el motor, en la Tabla 4.1 se puede apreciar los resultados que arrojaron los inyectores en la prueba de estanqueidad o goteo.

Tabla 4.1 Resultado de la prueba estanqueidad en el vehículo Aveo Family previo a la limpieza

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Presión	45 psi	45 psi	45 psi	45 psi
Tiempo de prueba	60 s	60 s	60 s	60 s
Observación de goteo	No	No	No	No
Resultado de la prueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba

Fuente: Tabla con la descripción de los resultados de la prueba 1 en el vehículo Aveo Family,
(Sañacela & Quinsasamin, 2019)

Los cuatro inyectores fueron sometidos a una presión de 45 psi durante 60 segundos en los cuales no existió presencia de goteo, por lo que los inyectores pasaron la primera prueba; en el caso de existir goteo por parte de algún inyector la máquina lo detectaría y las demás pruebas se suspenderían.

Una vez que los inyectores pasaron la prueba de estanqueidad se sometieron a las pruebas de velocidad variando el ciclo de trabajo en cada una de ellas y los resultados se los puede apreciar en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Resultados de las pruebas de operación en el vehículo Aveo Family previo a la limpieza

	Inyector 1		Inyector 2		Inyector 3		Inyector 4	
Pruebas de operación	Volumen (%)	Desviación (%)	Volumen (%)	Desviación (%)	Volumen (%)	Desviación (%)	Volumen (%)	Desviación (%)
Prueba 2: Velocidad variable	43	18	48	8	52	0	41	22
Prueba 3: Velocidad baja	35	28	45	6	48	0	37	23
Prueba 4: Velocidad media	41	22	43	16	51	0	39	25
Prueba 5: Velocidad alta	49	11	51	8	55	0	41	16

Fuente: Tabla con la descripción de los resultados de las pruebas de operación en el vehículo Aveo Family, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

Una vez calculados los respectivos valores de desviación; se pudo observar que la probeta del inyector 3 fue la que obtuvo mayor volumen, por lo que a las probetas restantes se las realizó el cálculo de desviación con respecto al volumen de la probeta del inyector 3.

Estos resultados muestran que los inyectores 1 y 2 tienen una desviación superior al 10% y esta sería la causa más probable de pérdida en la potencia del motor del vehículo Aveo Family.

A continuación, en la Tabla 4.3 se muestra los resultados de la prueba de goteo aplicados a los inyectores después de ser lavados por ultrasonido, se mantuvo la misma presión y tiempo de prueba, obteniendo los mismos resultados que los de la Tabla 4.1.

Tabla 4.3 Resultado de la prueba estanqueidad en el vehículo Aveo Family posterior a la limpieza

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Presión	45 psi	45 psi	45 psi	45 psi
Tiempo de prueba	60 s	60 s	60 s	60 s
Observación de goteo	No	No	No	No
Resultado de la prueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba

Fuente: Tabla con la descripción de los resultados de la prueba 1 en el vehículo Aveo Family, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

La Tabla 4.4 muestra los resultados de las pruebas de velocidad aplicadas a los inyectores después de que fueron sometidos a la limpieza por ultrasonido.

Tabla 4.4 Resultados de las pruebas de operación en el vehículo Aveo Family posterior a la limpieza

	Inyector 1		Inyector 2		Inyector 3		Inyector 4	
Pruebas de operación	Volumen (%)	Desviación (%)	Volumen (%)	Desviación (%)	Volumen (%)	Desviación (%)	Volumen (%)	Desviación (%)
Prueba 2: Velocidad variable	48	8	48	8	52	0	46	12
Prueba 3: Velocidad baja	45	6	45	6	48	0	43	11
Prueba 4: Velocidad media	49	4	49	4	52	0	43	16
Prueba 5: Velocidad alta	51	8	52	6	55	0	49	11

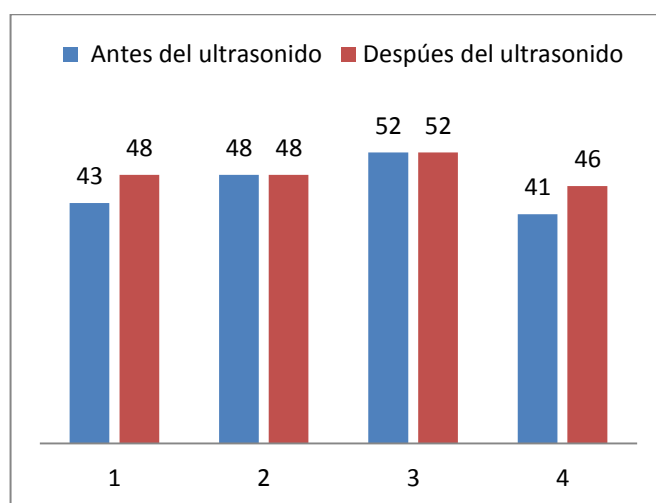
Fuente: Tabla con la descripción de los resultados de las pruebas de operación en el vehículo Aveo Family, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

El vehículo Chevrolet Aveo Family 2014 es un ejemplo con inyectores sucios y obstruidos, jamás se realizó una limpieza y un mantenimiento preventivo a dichos actuadores, en esta ocasión se llevó a cabo un mantenimiento correctivo a los 95000 km de recorrido del vehículo.

A continuación, en las siguientes Figuras 4.1- 4.4 se muestran las comparaciones de los volúmenes antes y después de su limpieza por ultrasonido.

En la Figura 4.1 se muestra la comparación del porcentaje de volumen antes y después de la limpieza por ultrasonido, para ambos casos se mantuvo los mismos parámetros de operación: velocidad variable 1500 RPM a 4000 RPM, y ciclo de trabajo variable 2.4 % a 7.6%, se puede apreciar una recuperación notoria en el volumen por parte de los inyectores 1 y 4.

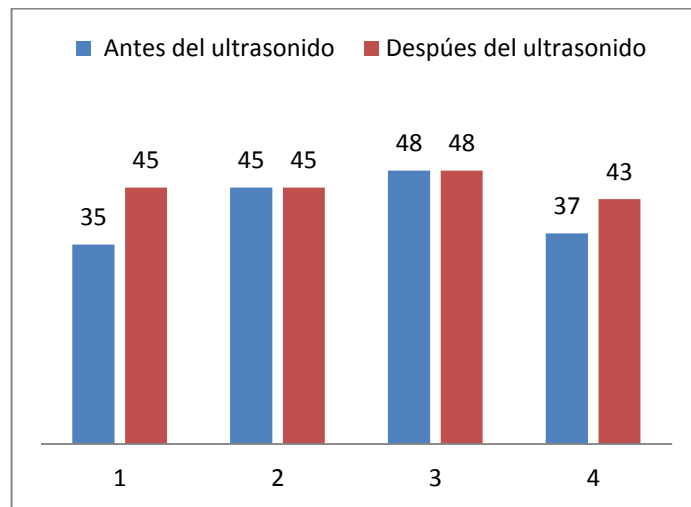
Figura 4.1 Porcentajes de volumen en la segunda prueba de operación del vehículo Aveo Family



Fuente: Comparación del porcentaje de volumen en la prueba de velocidad variable 1500-4000 RPM, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 4.2 se muestra la comparación del porcentaje de volumen antes y después de la limpieza por ultrasonido, para ambos casos se mantuvo los mismos parámetros de operación: velocidad baja 1500 RPM y ciclo de trabajo 2.4%, se puede apreciar una recuperación notoria en el volumen por parte de los inyectores 1 y 4.

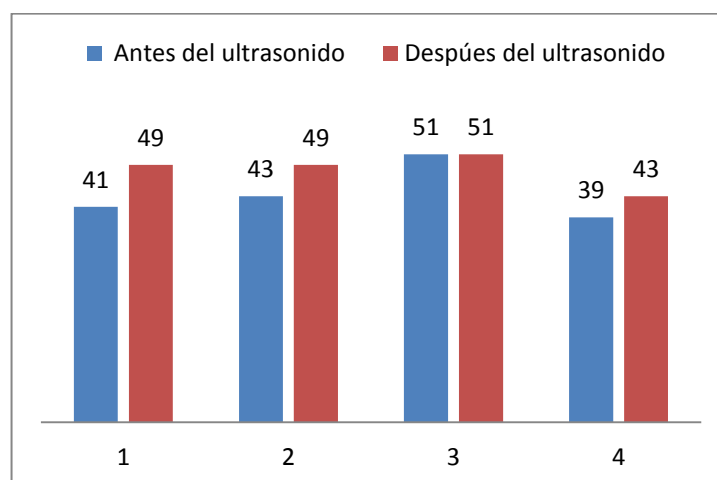
Figura 4.2 Porcentajes de volumen en la tercera prueba de operación del vehículo
Aveo Family



Fuente: Comparación del porcentaje de volumen en la prueba de velocidad baja 1500. RPM, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 4.3 se muestra la comparación del porcentaje de volumen antes y después de la limpieza por ultrasonido, para ambos casos se mantuvo los mismos parámetros de operación: velocidad media de 2500 RPM y ciclo de trabajo 4.27%, se puede apreciar una recuperación notoria en el volumen por parte de los inyectores 1, 2 y 4.

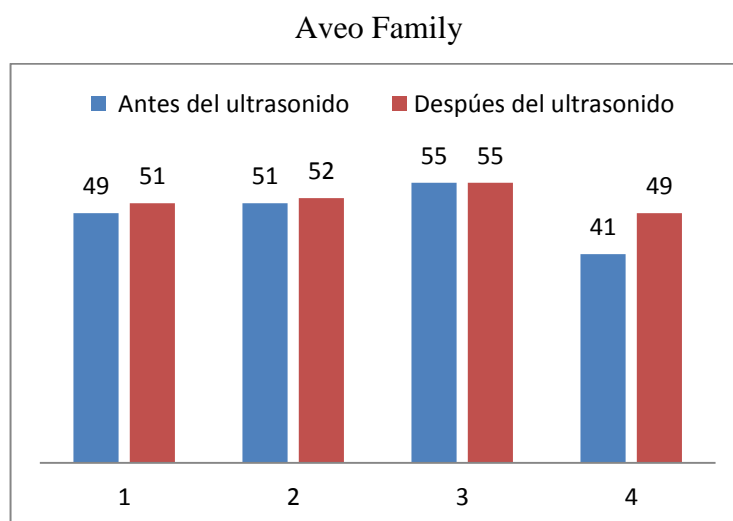
Figura 4.3 Porcentajes de volumen en la cuarta prueba de operación del vehículo
Aveo Family



Fuente: Comparación del porcentaje de volumen en la prueba de velocidad media 2500 RPM, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 4.4 se muestra la comparación del porcentaje de volumen antes y después de la limpieza por ultrasonido, para ambos casos se mantuvo los mismos parámetros de operación: velocidad alta 4000 RPM y ciclo de trabajo 7.6%, se puede apreciar una recuperación notoria en el volumen por parte de los inyectores 1 y 4.

Figura 4.4 Porcentajes de volumen en la quinta prueba de operación del vehículo



Fuente: Comparación del porcentaje de volumen en la prueba de velocidad alta 4000 RPM, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

En las Figuras 4.1 - 4.4 se pueden apreciar que existen valores como el caso del inyector 4 que después ser lavado por ultrasonido continuó sobrepasando el 10% de desviación permitida, esto significa que el motor del vehículo tendría en ocasiones pérdida de potencia debido al mencionado actuador, pero dicha pérdida ya no será frecuente.

4.2 Pruebas y resultados en el vehículo Corsa Evolution

Los inyectores del vehículo Corsa Evolution 2009 han sido sometidos dos veces a limpieza, para esta ocasión se realizó un mantenimiento preventivo a dichos actuadores a los 146000 km de recorrido comprobando su funcionamiento mediante el banco de pruebas y sometiéndolos a limpieza por ultrasonido, la Tabla 4.5 muestra los resultados de las prueba de estanqueidad o goteo aplicadas a los inyectores de este vehículo.

Tabla 4.5 Resultado de la prueba estanqueidad en el vehículo Corsa Evolution previo a la limpieza

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Presión	45 psi	45 psi	45 psi	45 psi
Tiempo de prueba	60 s	60 s	60 s	60 s
Observación de goteo	No	No	No	No
Resultado de la prueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba

Fuente: Tabla con la descripción de los resultados de la prueba 1 en el vehículo Corsa Evolution, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

Los cuatro inyectores fueron sometidos a una presión de 45 psi durante 60 segundos en los cuales no existió presencia de goteo.

En la Tabla 4.6 se muestra los resultados de las pruebas de operación aplicadas a los inyectores y los valores de volumen en porcentaje que se obtuvieron de las mismas. Se puede observar que ningún inyector en las distintas pruebas sobrepasa el 10% de desviación.

Tabla 4.6 Resultados de las pruebas de operación en el vehículo Corsa Evolution previo a la limpieza

	Inyector 1		Inyector 2		Inyector 3		Inyector 4	
Pruebas de operación	Volumen (%)	Desviación (%)	Volumen (%)	Desviación (%)	Volumen (%)	Desviación (%)	Volumen (%)	Desviación (%)
Prueba 2: Velocidad variable	49	0	49	0	48	2	45	8
Prueba 3: Velocidad baja	58	2	59	0	58	2	55	7
Prueba 4: Velocidad media	58	0	58	0	57	2	55	5
Prueba 5: Velocidad alta	54	0	51	6	50	8	49	10

Fuente: Tabla con la descripción de los resultados de las pruebas de operación en el vehículo Corsa Evolution, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

Se procedió a realizar un mantenimiento preventivo a dichos actuadores sometiéndolos a limpieza por ultrasonido y para la primera prueba de goteo se obtuvo los resultados de la siguiente tabla.

Tabla 4.7 Resultado de la prueba estanqueidad en el vehículo Corsa Evolution posterior a la limpieza

	inyector 1	inyector 2	inyector 3	inyector 4
Presión	45 psi	45 psi	45 psi	45 psi
Tiempo de prueba	60 s	60 s	60 s	60 s
Observación de goteo	No	No	No	No
Resultado de la prueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba

Fuente: Tabla con la descripción de los resultados de la prueba 1 en el vehículo Corsa Evolution, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

La Tabla 4.7 muestra los resultados de la prueba de goteo aplicados a los inyectores después de ser lavados por ultrasonido, se mantuvo la misma presión y tiempo de prueba en donde se obtuvo los mismos resultados que los de la Tabla 4.5.

La Tabla 4.8 muestra los resultados de las pruebas de velocidad aplicadas a los inyectores después de que fueron sometidos a la limpieza por ultrasonido.

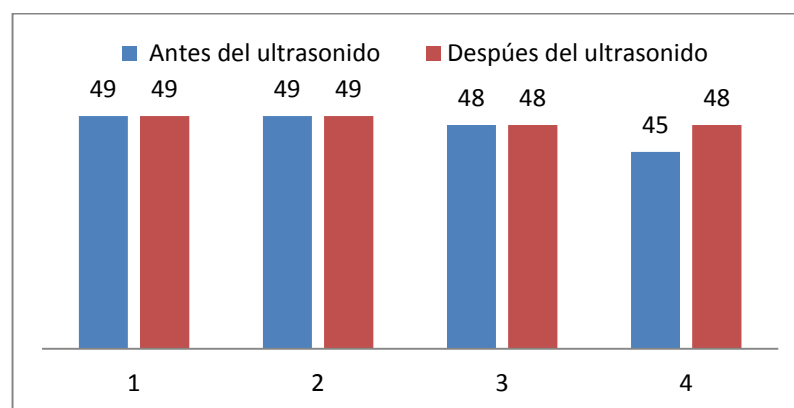
Tabla 4.8 Resultados de las pruebas de operación en el vehículo Corsa Evolution posterior a la limpieza

	inyector 1		inyector 2		inyector 3		inyector 4	
Pruebas de operación	Volumen (%)	Desviación (%)	Volumen (%)	Desviación (%)	Volumen (%)	Desviación (%)	Volumen (%)	Desviación (%)
Prueba 2: Velocidad variable	49	0	49	0	48	2	48	2
Prueba 3: Velocidad baja	59	0	59	0	58	2	57	5
Prueba 4: Velocidad media	58	0	58	0	57	2	56	3
Prueba 5: Velocidad alta	54	0	52	4	52	4	51	6

Fuente: Tabla con la descripción de los resultados de las pruebas de operación en el vehículo Corsa Evolution, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 4.5 se muestra la comparación del porcentaje de volumen antes y después de la limpieza, se puede apreciar una recuperación notoria en el volumen por parte del inyector 4 que fue del 45% al 48%.

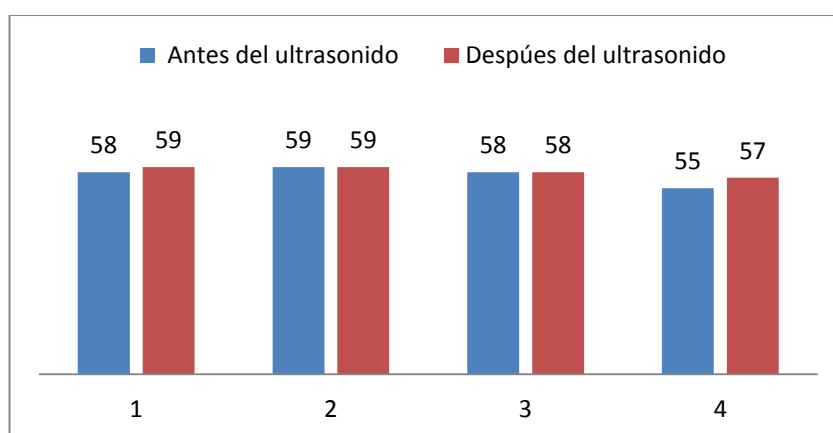
Figura 4.5 Porcentajes de volumen en la segunda prueba de operación del vehículo el
Corsa Evolution



Fuente: Comparación del porcentaje de volumen en la prueba de velocidad variable 1500-4000 RPM, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 4.6 se muestra la comparación del porcentaje de volumen antes y después de la limpieza, se puede apreciar una recuperación en el volumen por parte de los inyectores 1 y 4 que fueron del 58% al 59% y del 55% al 57% respectivamente.

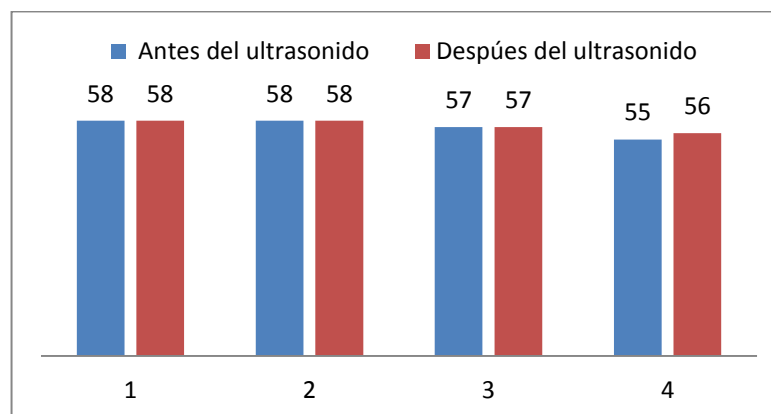
Figura 4.6 Porcentajes de volumen en la tercera prueba de operación del vehículo el
Corsa Evolution



Fuente: Comparación del porcentaje de volumen en la prueba de velocidad baja 1500. RPM, (Sañicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 4.7 se muestra la comparación del porcentaje de volumen antes y después de la limpieza, se puede apreciar una recuperación en el volumen por parte del inyector 4 que fue del 55% al 56%.

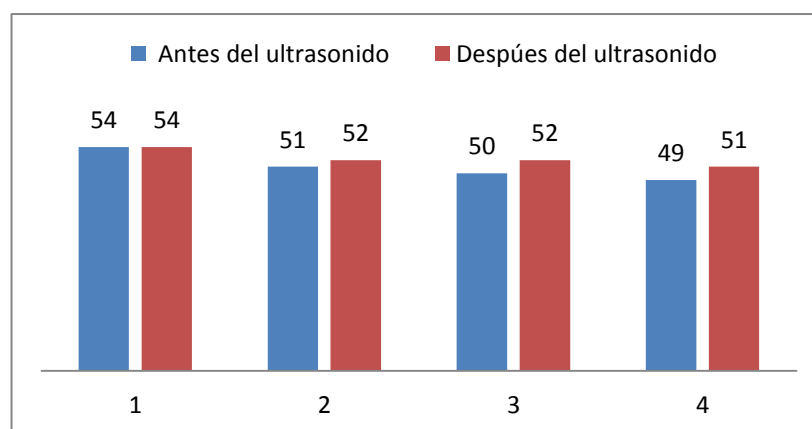
Figura 4.7 Porcentajes de volumen en la cuarta prueba de operación del vehículo el Corsa Evolution



Fuente: Comparación del porcentaje de volumen en la prueba de velocidad media 2500 RPM, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

En la Figura 4.8 se muestra la comparación del porcentaje de volumen antes y después de la limpieza, se puede apreciar una recuperación en el volumen por parte de los inyectores 3 y 4 que fueron del 50% al 52% y del 49% al 51% respectivamente.

Figura 4.8 Porcentajes de volumen en la quinta prueba de operación del vehículo el Corsa Evolution



Fuente: Comparación del porcentaje de volumen en la prueba de velocidad alta 4000 RPM, (Sañaicela & Quinsasamin, 2019)

Las Figuras 4.6 - 4.9 muestran la comparación entre los valores de volumen arrojados por los inyectores del vehículo Corsa Evolution antes y después de ser sometidos a limpieza por ultrasonido, estos valores son un ejemplo de mantenimiento preventivo de inyectores, dichos actuadores han sido lavados en dos ocasiones siguiendo las recomendaciones de los manuales del fabricante, esto demuestra que un mantenimiento preventivo ayuda a disminuir y evitar fallas futuras en el motor del vehículo.

CONCLUSIONES

Mediante el estudio de inyectores y sus formas de mantenimiento se constató que el método de limpieza más eficiente es el ultrasonido, ya que a diferencia de los otros métodos de limpieza a este se debe desmontar dichos actuadores del motor del vehículo para su respectiva limpieza mediante ondas ultrasónicas, además de poder analizar sus comportamientos mediante el banco de pruebas implementado el cual permite realizar pruebas de operación y reposo a dichos actuadores antes y después de ser lavados.

Se construyó un sistema automático de pruebas para inyectores con una tarjeta Raspberry Pi 3 la cual fue programada para simular el funcionamiento que tienen los inyectores en un motor de combustión interna mediante modulación por ancho de pulso (PWM), además se implementó un sistema de limpieza por ultrasonido a través de una tarjeta generadora de alta frecuencia y un transductor piezoeléctrico.

Se desarrolló un sistema SCADA mediante el cual el usuario puede controlar la presión de la bomba, anchos de pulso, activación del ultrasonido, ver imágenes en tiempo real además de tener acceso a una base de datos con los registros y resultados de las pruebas realizadas a los inyectores de los clientes.

Se verificó la efectividad del mantenimiento correctivo y preventivo de los inyectores de dos distintos vehículos por medio de la limpieza por ultrasonido y el banco de pruebas, teniendo como constancia los valores de volumen posterior a la limpieza por ultrasonido presentes en la tabla 4.4 para el vehículo Aveo Family y la tabla 4.8 para el vehículo Corsa Evolution, de los cuales el más notorio fue el primer caso ya que se obtuvo una desviación de volumen menor al 10% en todos los inyectores a excepción del inyector 4 que sus valores superaron el 10% de desviación por lo que se recomendó sustituir dicho actuador.

RECOMENDACIONES

Se recomienda verificar el nivel del líquido de banco de pruebas antes de ejecutar las pruebas de operación ya que de este modo se evitará daños en la bomba de presión.

Para detectar el color del líquido del banco de pruebas con la cámara web se recomienda ubicar un fondo blanco para disminuir el reflejo ocasionado por la intemperie.

Para determinar otro tipo de color del líquido del banco de pruebas es necesario utilizar la ventana de calibración deslizando sus barras de seguimiento.

Utilizar los líquidos de limpieza correctos tanto para el banco de pruebas como para el ultrasonido y procurar no mezclarlos, de ninguna manera se deberá usar gasolina para el banco de pruebas.

Es necesario realizar el cambio del líquido de banco de pruebas y líquido de ultrasonido después de 30 usos y 5 usos respectivamente o cuando la suciedad sea notoria.

Para colocar los inyectores en el riel se debe colocar una capa de vaselina alrededor del orificio de entrada del inyector.

Mantener el nivel del líquido de ultrasonido a $\frac{2}{3}$ del volumen total de la tina.

Si un inyector después de ser sometido a limpieza por ultrasonido la desviación que presenta sigue mayor al 10% lo recomendable es sustituirlo por otro nuevo, ya que dicho actuador puede traer consecuencias graves a futuro en el motor o puede también darse un consumo excesivo de combustible, tal es el caso del inyector 4 del vehículo Aveo Family 2014 que se recomienda sustituirlo.

BIBLIOGRAFÍA

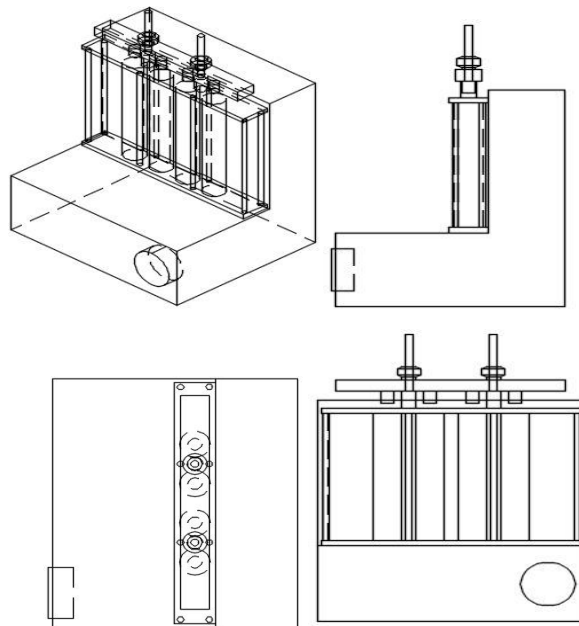
- Convertidores DC/DC.* (2015). Obtenido de <https://nomadaselectronicos.wordpress.com/2015/04/12/convertidores-dcdc-buck/>
- 5-Frecuencia (Hz).* (2018). Obtenido de <https://www.acusticaintegral.com/3309/el-oido-humano-el-decibelio-y-el-dba/>
- Angrango, J., & Gómez, E. (2016). *Sistema prototipo actuador por comandos de voz utilizando software libre*. Enfoque UTE.
- Associates, T. (s.f.). *Questions and answers about Ultrasonic Cleaning*. Obtenido de <http://www.tnasc.com/qa%20process.htm>
- Barco, W. (2010). *Diseño y construcción de un banco de prueba para inyectores electrónicos a diesel para un sistema common rail*. Guayaquil.
- Caballero, J. (s.n). *Velocidad de Propagación de una Onda: factores y cómo se mide*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/velocidad-propagacion-onda/>
- Cajas Idrovo, N., & Viri Ávila, P. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de seguridad vehicular mediante reconocimiento facial a través de visión artificial*.
- Condori, O. (n.d). *Convertidores AC-AC* . Obtenido de http://docentes.uto.edu.bo/ocondoric/wp-content/uploads/TEMA_6.pdf
- Curiosoando. (2014). *¿Qué es un inversor de voltaje?* Obtenido de <https://curiosoando.com/que-es-un-inversor-de-voltaje>
- Dpto. de Automatización y Control Industrial. (n.d). *Interfaces de Comunicación Industrial*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10020/2/PARTE%202.pdf>
- EcuRed. (2018). *Sonido*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Sonido>
- Fuseau, D., González, J., & Proaño, D. (2016). *Construcción de un banco de pruebas y limpieza de inyectores a gasolina*. Quito.
- Gómez, E. (2017). *PWM*. Obtenido de <https://www.rinconingenieril.es/que-es-pwm-y-para-que-sirve/>
- González, M. (2014). *Frecuencia, período, longitud de onda, número de onda y los colores del Mundial*. Obtenido de http://www.mariogonzalez.es/blog/ciencia/140724-los-colores_del_mundial.html

- Guevara, F. (2014). *Ac dc rectificadores*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/fabioguevara1/ac-dc-rectificadores>
- Gutiérrez, F. (2010). *Principios de Piezoelectricidad*. . New York: Cambridge Universit.
- Hart, D.(2001). *Electrónica de potencia*. Editorial Prentice Hall.
- Jiménez Vásquez, J. R. (2016). *Comprobación de las señales emitidas por los inyectores en determinados regímenes del motor utilizando el osciloscopio en un vehículo Chevrolet sail 1.4 L*.
- LAUNCH. (2017). *Manual de Usuario Equipo de Limpieza y Prueba de Inyectores CNC-602A*. Obtenido de https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=manual-launch-cnc-en-espanol
- Malpartida, E. (2003). *Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot*. Perú.
- Martínez, S. (n.d). *Cálculo y construcción de inductores de potencia*. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/0B4bF0fvF6_SjSWd6QIJ3bERzWEE/view
- Mullo López, E. D., Molina, M., & Andrés, C. (2016). *Diseño e implementación de un sistema para la contabilización de la cantidad de objetos que circulan por el espacio captado por una cámara utilizando librerías de OPENCV*.
- Física del sonido*. (n.d). Obtenido de http://www.eumus.edu.uy/eme/ensenanza//acustica/apuntes/material-viejo/fisica_r/
- SCR en AC - Tiristores Circuitos*. (n.d). Obtenido de <https://sites.google.com/site/tiristorescircuitos/scr-en-ac>
- Navia, F. (2018). *Qué es y para qué sirve MySQL Database*. Obtenido de <https://fireosoft.com.co/blogs/que-es-y-para-que-sirve-mysql/>
- Núñez, J., & Villamar, E. (2017). *Diseño e implementación de un prototipo de limpieza por medio de ultrasonido*. Guayaquil.
- Oasys . (n.d). *Qué es el sistema SCADA e importancia en la Industria 4.0*. Obtenido de <https://oasys-sw.com/que-son-sistemas-scada-industria-40/>
- Olvera, J. (2011). *Tabla de Presiones de Bomba de Gasolina*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/64869564/Tabla-de-Presiones-de-Bomba-de-Gasolina>

- Orovio, M. (2010). *Tecnología del automovil*. Editorial Paraninfo
- Ortiz, N., & Vinuesa, R. (2007). *Diseño y construcción de un sistema semiautomático de limpieza por ultrasonido para muestras metalográficas y fractográficas con aplicación a un banco de pruebas y limpieza de inyectores a gasolina para el laboratorio de metalurgia de la ESPE*. Sangolqui.
- Ozuna, C. (2011). *Evaluación de un transductor integral de fuerza bajo condiciones de campo*. México.
- Pérez. (2015). *Sistemas auxiliares del motor*. Editorial Paraninfo.
- Rangel, J., Rodríguez, E., Rodríguez, J., & Hernández, L. (2016). *Development of an automated system for fuel injectors test trough quality function deployment concept*. Congreso Internacional Sobre Innovación Y Desarrollo Tecnológico CIINDET 2016.
- Ruiz, R. (2018). *Cómo funciona un motor de 4 tiempos*. Obtenido de <https://www.aboutespanol.com/como-funciona-un-motor-de-4-tiempos-2401085>
- Serrano, J. (2013). *Fundamentos de ecografía*. Obtenido de <http://jairoserrano.com/2013/10/fundamentos-de-ecografia/>
- Soto, W., & Lara, M. (2016). *Especificación, diseño y montaje de un sistema de lavado por ultrasonido*.
- Van Rossum, G. (2009). *Python*. Obtenido de <http://docs.python.org.ar/tutorial/pdfs/TutorialPython2.pdf>
- Vargas Baeza, V. (2009). *Sistema de visión artificial para el control de calidad en piezas cromada*.
- Villavicencio, P. (2012). *Diseño y construcción de un banco electrónico de pruebas y limpieza de inyectores a gasolina*. Riobamba.
- WonderWare. (2018). *¿Qué es SCADA?* Obtenido de <http://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-scada/>

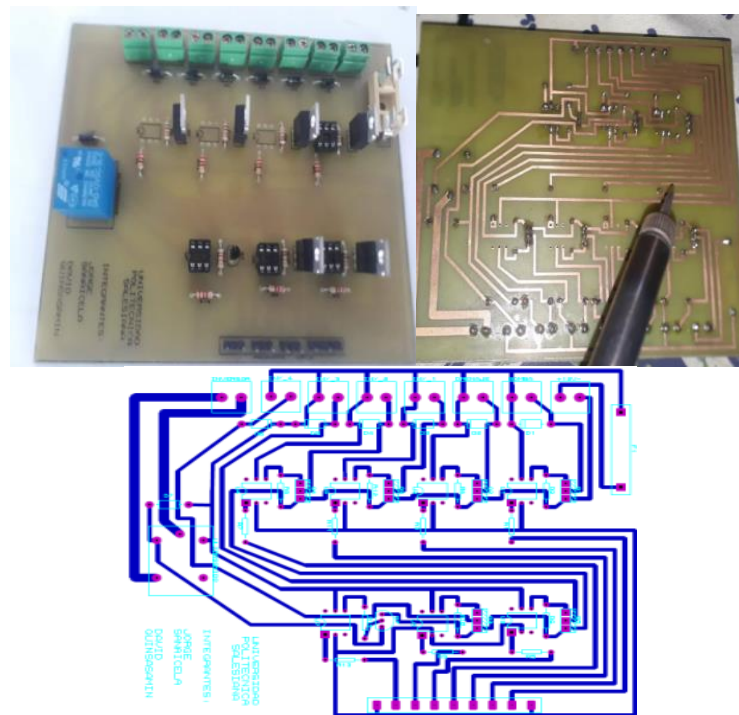
ANEXOS

Anexo 1: Diagramas de la estructura para el banco de pruebas



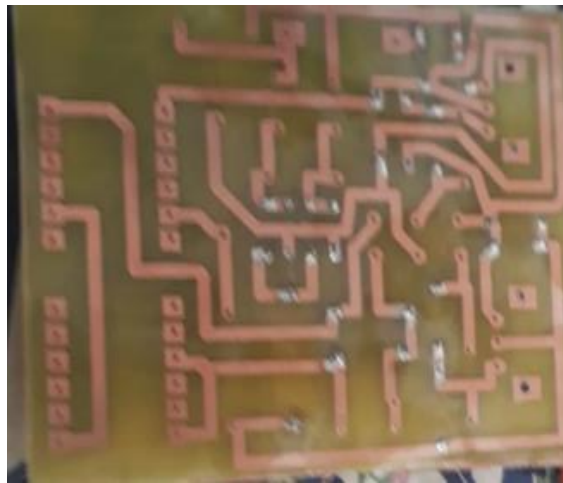
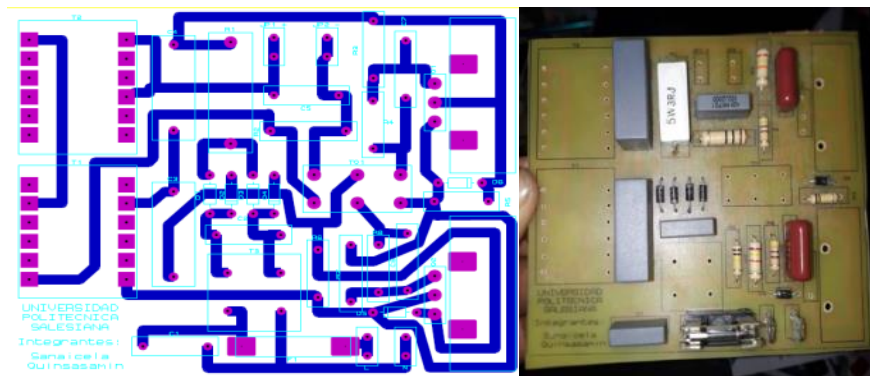
Elaborado por: Jorge Sañaicela & David Quinsasamin

Anexo 2: Diseño y construcción de la tarjeta driver de control



Elaborado por: Jorge Sañaicela & David Quinsasamin

Anexo3: Construcción de la tarjeta del circuito generador de alta frecuencia



Elaborado por: Jorge Sañicela & David Quinsasamin

Anexo 4: Cálculos del Toroide

$$Z = Z_L + \frac{Z_R Z_C}{Z_R + Z_C}$$

Donde:

$$Z_R = R$$

$$Z_C = \frac{-j}{\omega C}$$

$$Z_L = j\omega L$$

$$\frac{Z_R Z_C}{Z_R + Z_C} = \frac{R \left(\frac{-j}{\omega C} \right)}{\left(R - \frac{j}{\omega C} \right)} * \frac{\left(R + \frac{j}{\omega C} \right)}{\left(R + \frac{j}{\omega C} \right)} = \frac{R \left(\frac{1}{\omega^2 C^2} - \frac{Rj}{\omega C} \right)}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

$$\bar{Z} = j\omega L + \frac{\frac{R}{\omega^2 C^2} - \frac{R^2 j}{\omega^2 C^2}}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} = j\omega L + \frac{R - R^2 j}{\omega^2 R^2 C^2 + 1}$$

$$= \frac{R - j(R^2 - \omega L - \omega^3 L R^2 C^2)}{(\omega R C)^2 + 1}$$

$$R_{eq} = \frac{R}{(\omega R C)^2 + 1}$$

$$X_{eq} = \frac{R^2 - \omega L - \omega^3 L R^2 C^2}{(\omega R C)^2 + 1} = \frac{R^2 - L(\omega - \omega^3 R^2 C)}{(\omega C R)^2 + 1}$$

Anexo 5: Elementos para la tarjeta driver de control

Cantidad	Elemento	Descripción
7	4N25	Optocoplador Corriente de colector max: 100 mA Voltaje colector-emisor max: 30 V
6	IRF540N	Mosfet de canal N, Corriente Máxima Continua de Drenaje: 33A Tensión Máxima Drenador-Fuente: 100V Resistencia Máxima Drenador-Fuente: 44mΩ
7	Diodo 1N4007	Protección de actuadores
7	Resistencias 220 Ω	Señal de la tarjeta Raspberry al optocoplador
7	Resistencias 10 K Ω	Activación de los mosfet
1	Relé	Activación :12 VDC Carga nominal: 10 A 250 VAC, 10 A 30 VDC Corriente de conmutación máxima: 10 A Potencia bobina 0.45 W
1	Fusible	5 A
8	Terminales de 2 pines	Atornillables, 5 mm de separación
1	Disipador de calor	Para el mosfet controlador de la bomba
1	3904	Transistor NPN Voltaje colector emisor en corte 40 V (Vceo) Corriente de colector constante 200m A (Ic) Potencia total disipada 625 mW (Pd)

Fuente: Tabla de la descripción de los elementos de la tarjeta driver de control. Elaborado por: Jorge Sañaicela y David Quinsasamin

Anexo 6: Componentes del sistema ultrasonido

Cantidad	Elemento	Referencias	Descripción
1	Fusible	F1	Fusible de protección 5 A
2	Capacitor 104 k-MKP62 X2	C1,C2	Filtros elimina ruidos 305 V 0.1 uF
4	Diodo 1N4007.	D1,D2,D3,D4	Puente rectificador
5	Transformador con núcleo de ferrita	T1	Transformador de alta frecuencia
2	Transistores MJE13005	Q1,Q2	Transistor de potencia bipolar NPN 4.0 A 400 V
2	Capacitores CBB21 104J 630	C5,C6	Capacitores cerámicos 0.1 uF 0.1 630 V

Fuente: Tabla de descripción de elementos del sistema de ultrasonido. Elaborado por Jorge Sañaicela & David Quinsasamin